

Санкт-Петербургский государственный университет

КУТЯЙКИН Николай Владимирович

Выпускная квалификационная работа

**Прогнозы водопритоков в подземные горные выработки с
применением численного моделирования**

Основная образовательная программа бакалавриата

«Геология»

Научный руководитель: к.г.-м.н.,
доцент КОНОСАВСКИЙ Павел
Константинович

Рецензент: к.т.н. НАЗИМА Вячеслав
Викторович

Санкт-Петербург

2018

Оглавление

Введение	3
1. Общие сведения о месторождении	4
1.1 Административное положение	4
1.2 Климат	5
1.3 Экономическая характеристика района.....	6
2. Геологическое строение месторождения.....	8
2.1 Общие сведения	8
2.2 Стратиграфия.....	10
2.3 Магматизм.....	12
2.4 Структура месторождения	12
2.5 Метасоматические изменения пород	14
2.6 Краткая характеристика рудных тел	15
3. Гидрогеологические условия.	16
3.1 Общие сведения	16
3.2 Гидрогеохимические исследования.....	18
3.3 Гидрогеологическая съёмка	20
4. Анализ ранее выполнявшихся гидрогеологических работ	23
5. Интерпретация и численное моделирование кустовой откачки.....	32
5.1 Описание откачки	32
5.2 Аналитическая обработка	34
5.3 GWF&GEM	40
5.4 Processing Modflow.....	46
6.4 Выводы.....	52
Заключение	53
Список источников	55

Введение

Изучение гидрогеологических условий при отработке месторождений твердых полезных ископаемых является необходимым элементом разведки и оценки запасов минерального сырья. Это связано, в первую очередь, с возможностью подтопления фронта горных работ. Точность и надежность оценок и прогнозов водопритоков в горные выработки определяется знанием фильтрационных параметров вмещающих пород. Определение этих параметров является обязательной составляющей гидрогеологических работ на месторождении – так называемых опытно-фильтрационных работ.

В данной работе рассмотрены геологические и гидрогеологические условия Майского месторождения, проведен анализ ранее выполнявшихся гидрогеологических работ с использованием современных аналитических методов, дана информация о гидрогеологической съёмке, проводившейся во время полевых работ, приведены сравнения изменения химического состава, показаны возможности численного моделирования для интерпретации опытно-фильтрационных работ. Последнее и является основной целью данного исследования. В работе приведены результаты интерпретации опытной кустовой откачки, проводимой в ходе гидрогеологической доразведки месторождения, в которой автор принимал участие при прохождении производственной практики.

В работе были использованы программный комплекс для интерпретации данных опытно-фильтрационных работ «ANSDIMAT», программы для численного моделирования GWF&GEM и Processing Modflow.

Автор выражает благодарности своему научному руководителю, к.г.-м.н. Коносавскому П. К. за общий контроль в процессе написания работы, к.г.-м.н. Потапову А. А. и к.г.-м.н. Петровой И. Б. за ценные советы и помощь, к.т.н. Савельеву Д. И. и Шамшеву А. А. за совместную полевую работу и предоставленные материалы.

1. Общие сведения о месторождении

1.1 Административное положение

Майское золоторудное месторождение расположено в пределах Чукотского нагорья в одном из северных отрогов Анадырского хребта, являющегося водоразделом речных систем Кэвеем, Пегтымель, Паляваам. По административному делению территория входит в состав Чаунского района Чукотского автономного округа Российской Федерации.

Площадь рудного поля месторождения составляет 10 км² и имеет географические координаты: 173°46'30" восточной долготы, 68°58'40" северной широты.

Рельеф района холмистый, максимальные абсолютные отметки достигают +450 м и относительными превышениями вершин над днищами долин в 120-250 м. Рудное поле месторождения расположено на правом борту долины реки Кэвеем, в её верховьях. Ближайшей крупной водной артерией является река Паляваам, протекающая в 20 км южнее месторождения и характеризующаяся дебитом в летне-осенний период в 250-350м³/с. С октября по май все мелкие водотоки района полностью перемерзают, река Паляваам в этот период имеет подрусловый сток по надмерзлотным таликовым зонам. На рисунке 1 представлено географическое положение месторождения.



Рисунок 1 Географическое положение месторождения (Глушков и др., 2016).

1.2 Климат

Климат района арктический. Среднегодовая температура воздуха равняется -10°C и колеблется от $+30^{\circ}\text{C}$ в июле до -50°C в декабре. Среднегодовое количество осадков 200-250 мм, одна треть их выпадает в виде дождя с июня по сентябрь. Мощность снежного покрова непостоянна, зависит от формы рельефа местности, и разнится от 0,5 м до 2-3 м. Преобладающее направление ветров меридиональное, северные ветры преобладают, но по силе уступают южным; максимальная скорость последних до 20-40 м/с с редкими порывами до 50 м/с. Климатические данные предоставлены ФГБУ «Чукотское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (приложение 11). Необходимо

заметить, что наблюдения в п. Майский проводились с 1982 года, с открытием метеостанции, и по 1991 год, так как с закрытием поселка в 1991 году была закрыта и метеостанция Майская. Ближайшая к ней действующая метеостанция находится в г. Певек в 180 км от месторождения, однако г. Певек расположен на берегу Чаунской губы, а морской климат существенно отличается от континентального, поэтому данные по метеостанции г. Певек использовать не целесообразно.

Растительный и животный мир типичны для зоны арктической тундры. Лес полностью отсутствует. Земли в районе месторождения используются для выпаса домашних оленей.

Район месторождения сейсмически спокоен. Расположен он в области развития многолетней мерзлоты. Мощность ее на площади рудного поля составляет 190-320 м. Нижняя граница мерзлоты служит кровлей водоносного горизонта мощностью 60-80 м (Глушков и др., 2016).

1.3 Экономическая характеристика района

Площадь Чаунского района составляет 58100 км, численность населения по состоянию на 1 января 2002 года – 10500 человек. На территории района расположено 7 населённых пунктов, число которых, за последние 5 лет, уменьшилось в 3,5 раза.

В экономическом отношении район является самостоятельным горнопромышленным узлом с собственной входной базой – районным центром городом Певек. Добывающие предприятия выполняют роль экономической и социальной основы жизни района.

Материально-техническое снабжение предприятий района происходит через Певекский морской арктический порт, его пропускная способность составляет 1200 тыс. тонн грузов в год.

Дорожная сеть развита слабо, размещение дорог весьма неравномерно и обусловлено географическим расположением

месторождений полезных ископаемых. В течение 1998-2000 гг. построена автомагистраль протяжённостью более 400 км, соединившая между собой г. Певек и г. Билибино по маршруту пос. Комсомольский, пос. Майский. Автомобильный транспорт региона был сосредоточен в составе крупного Певекского автотранспортного предприятия.

Воздушно-транспортная система региона включает в себя акционерное общество "Чукотавиа" и самостоятельные единицы – аэропорты Певек и Мыс Шмидта. Авиапассажирские, почтовые, грузовые перевозки за пределы территории весьма нерегулярны. Главные аэропорты оснащены бетонными взлётно-посадочными полосами, принимающими самолёты любых типов. Воздушная связь в настоящее время осуществляется напрямую с Москвой, Анадырем.

В систему энергообеспечения региона входят Билибинская атомная электростанция (48 МВт), Чаунская ТЭЦ (28,5 МВт) и маломощные поселковые котельные, работающие на твёрдом или жидком топливе. Билибинская АЭС (г. Билибино) является наиболее мощной и экономичной на Чукотке, функционирует уже около 20 лет и по нормативам подлежит скорой реконструкции.

В заключение необходимо отметить, что Майское золоторудное месторождение находится в экономически освоенном районе вблизи развитой сети дорог, линии электропередачи и от входной базы района - морского порта Певек (Глушков и др., 2016).

2. Геологическое строение месторождения

2.1 Общие сведения

Территория, на котором расположено Майское месторождение определяется развитием пород мезозойского геосинклинально-складчатого комплекса и меловых вулканитов Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Большая часть площади занята песчаниково-алевролитовыми отложениями триасового возраста, которые подчинены генеральному, северо-западному простиранию.

Геосинклинально-складчатый комплекс сложен породами среднего, нерасчленённого среднего-верхнего и верхнего отделов триаса. Общая мощность отложений составляет 1700-2500 метров.

Комплекс меловых отложений, представлен континентальными осадочными угленосными породами раннего мела и вулканогенными образованиями начала позднего мела. Данные отложения образуют угловое несогласие с триасовыми толщами. Однако непосредственно на территории Майского месторождения меловые отложения отсутствуют, поэтому их подробная характеристика приводится не будет.

Кайнозойские отложения представлены верхнечетвертичными (Q_{III}), современными (Q_{IV}) и нерасчленёнными верхнечетвертичными (Q_{III-IV}) отложениями преимущественно делювиально-солифлюкционного и аллювиального генезиса. Они повсеместно перекрывают днища долин, подножия склонов и пологие водораздельные пространства. Мощность их варьирует от 1-2м на склонах до 10м в центральных частях долин.

Мезозойский складчатый комплекс прорван меловыми интрузиями гранитоидов, субвулканическими телами, дайками основного, среднего и кислого состава, которые занимают общую площадь примерно в 10% площади региона.

Рассматриваемый район расположен в переходной зоне между двумя крупными структурами Чукотской складчатой области: Паляваамской

синклинальной зоной и Куульским поднятием, известным как Кэвеемский антиклинорий.

Золотое оруденение проявляется в границах Ичувеем-Паляваамской металлогенической зоны, которая простирается вдоль северо-восточного ограничения Паляваамской синклинальной зоны Чукотской складчатой области. Золоторудная минерализация наиболее всего проявлена в центральной части металлогенической зоны – к ней относится Ичувеемский россыпной золотоносный узел и Майский рудный узел). Помимо золота, в юго-западной части зоны проявляется ртутная минерализация, а в северо-восточном – оловянная.

Майский рудный узел имеет площадь в 1000 км² и расположен в пересечении Кукнейской и Паляваамской зон глубинных разломов. В пределах узла выявлено несколько рудных месторождений золота – Майское, Сопка Рудная, Северо-Восток Промежуточного рудного поля.

Рудогенез Майского узла происходил в большом диапазоне физико-химических условий, температур, давлений, в резко меняющихся структурных условиях. Это привело к существованию нескольких минеральных типов золоторудного оруденения. Однако наибольшее значение на Майском узле имеет золото-мышьяково-сурьмяный тип.

Складчатые структуры в Майском рудном узле в целом сохраняют ориентировку, свойственную всем структурам Паляваамского синклинория, однако в пределах рудного поля месторождения наблюдается резкий разворот структур до субмеридиональных и северо-восточных. Это связано с воздействием меридиональной и северо-восточной систем разломов. Наиболее важную роль для формирования оруденения играют пересечения меридиональных разрывов с глубинными северо-западными структурами, в которых локализованы золоторудные месторождения и рудные поля - Майское, Промежуточное, Сопка Рудная, Сыпучинское (Цыплаков и др., 2011).

2.2 Стратиграфия

В пределах Майского рудного поля обнажаются породы, которые характеризуют весь разрез триасовых отложений района и меловые дайки кислого состава. Наиболее древний возраст имеют среднетриасовые отложения кевеемской и ватапваамской свит.

Кевеемская свита обнаруживается в центральной части рудного поля. Она состоит из чередующихся горизонтов алевролитов (мощностью 0.2-10 м) с пачками переслаивания алевролитов, глинистых сланцев и песчаников (мощностью 2-50 м) и редкими пластами тонко-мелкозернистых песчаников (мощность 1-7 м). В пачках переслаивания мощность песчаников составляет в среднем 0,01-0.05 м, максимум до 2 м. В алевролитах и алевролито-сланцевых пластах отмечаются горизонты кремнисто-глинисто пиритовых конкреций (мощность 0.15-0.3 м). Форма конкреций овальная, длина по длинной оси составляет 10-12 см. Фауна не обнаружена. Суммарная мощность свиты составляет 500-600 метров.

Нижневатапваамская подсвита также обнажается в центральной части рудного поля. Отложения залегают без видимого перерыва. В основании находится пачка среднезернистых и мелкозернистых полевошпатово-кварцевых песчаников (мощностью 20-40 м). Остальную часть подсвиты слагают мелко-среднезернистые тонкозернистые песчаники, алевролиты, часто песчанистые. Часто наблюдаются известковые и углистые разности.

Верхневатапваамская подсвита проявляется в восточной части рудного поля. Верхняя граница обозначается по появлению в разрезе кварцитовидных грубозернистых песчаников. Подсвита состоит из буровато-серого разномызернистого полевошпатово-кварцевого песчаника и кварцевого алевролита. Подсвита состоит из регулярного чередования обозначенных пачек (мощностью 10-30 м) с резким преобладанием мелко-среднезернистых песчаников и горизонтов переслаивания песчаников и алевролитов, причём объём песчаников составляет 70-80% объёма. Существенно алевритовых пачек мало и их мощность не превышает 30

метров. По всему разрезу встречается фауна. Мощность подсвиты составляет 300-350 метров.

Релькувеемская свита наиболее хорошо проявляется на юге и севере рудного поля. В основании залегают пласты мелкозернистых песчаников с прослойками алевролитов. Объём песка составляет в нижней части 50-60%, в верхней она понижается до 25-30%. Свита сложена серыми мелко-тонкозернистыми песчаниками и тёмно-серыми, чёрными алевролитами, а также переслаивающимися микрослоистыми пачками алевролита и тонко-мелкозернистых песчаников. Мощность песчаниковых пластов составляет 0.2-0.7 метров, максимум 3-4 метра, мощность алевролитов – 0.1-0.4 метра до 3 метров, мощность переслаивающихся пачек составляет 5-10 метров. По разрезу повсеместно обнаруживаются остатки различных фораминифер. Мощность свиты оценивается 350-400 метров.

Отложения мелкувеемской свиты обнаруживаются в южной и западной частях рудного поля. Свита состоит из тёмно-серых и чёрных алевролитов, переслаивающихся тонкозернистых песчаников и алевролитов, редких пластов мелко-тонкозернистых песчаников. Мощность этих пластов не превышает 0.1-0.2 метра. В объёме преобладают тонкие разности пород – 70-90% от общего объёма. Характерной чертой свиты являются микрослоистые алевролиты с тончайшими слоями светлых тонкозернистых песчаников. В породе в большом объёме присутствуют пиритовые конкреции и стяжения. Верхняя граница свиты – пачка массивных мелкозернистых песчаников (мощностью 25-40 м). Мощность свиты изменяется от 150 до 450 метров.

Кувеемская свита норийского яруса картирована на юго-востоке рудного поля. Свита залегает с перерывом на песчаной пачке и состоит из переслаивающихся алевролитов, глинистых сланцев и алевропесчаников. В данной свите встречается многочисленная фауна. Мощность свиты не превышает 135 метров.

2.3 Магматизм

Магматические образования представлены распространёнными ранними и поздними меловыми дайками, субвулканическими телами кварцевых порфиров и кварц-полевошпатовыми порфиров, а также единичными дайками лампрофиров.

Кварц-полевошпатовые порфиры, которые наиболее распространены на месторождении, образуют мощные линейные субвулканические тела с многочисленными ответвлениями. Мощность их достигает 100-150 метров, протяжённость – 2500 метров. Кварцевые порфиры встречаются значительней реже в виде отдельных даек и мощностью до нескольких метров. Залегают согласно с дайками кварц-полевошпатовых порфиров, но имеют секущие по отношению к ним контакты. Редкие дайки лампрофиров, более древние, имеют ту же ориентировку и обладают мощностью в 0.5-1 метр.

Дайки кварцевых и кварц-полевошпатовых порфиров образуют мощные серии в меридиональной зоне пластических деформаций, где имеют согласную ориентировку.

На флангах рудного поля, где проявления магматизма локализованы в субсогласных напластованиях их параметры значительно меньше и их ориентировка зависит от местной структуры (Цыплаков и др., 2011).

2.4 Структура месторождения

Структура месторождения представляет собой дислоцированную брахиантиклиналь, осложнённой блоковыми подвижками и занимающую площадь в 6 км².

Шарнир брахиантиклинали имеет азимут простираения 30-35° с погружением на юг, углы падения пород 30-55°. Осадочные породы подвержены складчатости, наиболее интенсивной в центральной и северо-восточной части.

Разрывная тектоника представлена многочисленными трещинами северо-восточного, северо-западного, субширотного и субмеридионального направлений. Древняя – диагональная – связана с пликативными дислокациями, ортогональная – с тектономагматической деятельностью.

В пределах месторождения выделяются три тектонических блока: Западный, Центральный и Восточный, разделённые крупными разрывными структурами (рисунок 2).



Рисунок 2 Структурно-тектоническая схема месторождения (Цыплаков и др., 2011)

В ядре брахиантиклинали находятся наиболее древние породы месторождения, преимущественно алевролиты кевеевской свиты. Названные породы слагают Центральный тектонический блок. С запада его ограничивает субмеридиональный разрыв, с юга – широтный, а с восточная граница вновь проходит по субмеридиональному разлому, разделяющем кевеевскую и ватапваамскую свиты. Площадь блока – 2.5 км². На севере граница не ясна по причине современных отложений, которые полностью её перекрывают. Блок трактуется как зона «вязких» разрывов.

Западный тектонический блок примыкает к Центральному. С юга и севера ограничен широтными разломами, с запада – субмеридиональной разрывной структурой. Площадь блока – 4.2 км². В пределах блока сохранились спокойные пликативные нарушения. Рудные разрывные структуры субсогласны залеганию вмещающих пород.

Восточный тектонический блок и с юга, и с севера ограничен северо-восточными разрывами, с востока – северо-западным. Площадь блока – 3.9 км². Преобладает северо-восточная складчатость и согласные ей разрывные нарушения. Дайки и рудные тела тяготеют, в основном, к северо-восточным трещинам.

2.5 Метасоматические изменения пород

На Майском месторождении выделяется несколько типов прогрессивного метаморфизма, которые сопровождаются регрессивными изменениями. Однако на фоне этих изменений зеленосланцевых фаций, отчётливо проявлены метасоматические преобразования, связанные во времени с рудоотложением.

В центральной части месторождения, в результате замещения осадочных толщ и порфиров, распространены осветлённые породы кварц-серицитового состава. Ширина контура составляет около 800 метров, переход к неизменённым породам постепенный. Расположение редкометальной минерализации относительно границ пород кварц-серицит-карбонатного состава делает возможным предположение о парагенетических связях метасоматических преобразований и редкометального оруденения, однако золоторудные тела находятся вне изменённых пород, так как последние в процессе развития месторождения стали жёстким метасоматическим ядром, которое исключало возможность проникновения внутрь себя золотоносных растворов.

Околорудные изменения локализованы рядом с рудными телами, обычно их мощность составляет несколько метров и визуально они малозаметны.

Непосредственно в рудоносных зонах широко распространены глинистые минералы, иногда их объём достигает 10%. Они включают в себя каолинит, диккит и некоторое количество нонтронита. Также характерна аргиллизация даек, причём она прослеживается вплоть до глубины 800 метров. Аргиллизация связана как с до, так и после продуктивных стадий рудного процесса.

Рассмотренные метасоматические преобразования пород по литологическим признакам и петрохимической направленности в целом типичны для вулканогенных месторождений (Григоров и др., 1980).

2.6 Краткая характеристика рудных тел

При первой апробации запасов в ГКЗ 1981 г участвовало двенадцать рудных тел: по Центральному блоку восемь тел - 1, 2, 2а, 3, 23, 30, 31, 33; по Западному блоку четыре тела - 24, 34, 40, 41. С 1981 по 1985г.г. на баланс были поставлены запасы еще по четырнадцати новым телам. В том числе, по Западному блоку два тела: 35 и 43; по Центральному четыре тела - 29, 13а, 13, 32 и по Восточному восемь тел - 6, 9, 9а, 9б, 9г, 10, 11 и 28 (Глушков и др., 2016).

3. Гидрогеологические условия.

3.1 Общие сведения

Майское месторождение расположено на территории распространения многолетнемерзлых пород. Рассматриваемый район входит в Анюйско-Чукотскую гидрогеологическую складчатую область. Месторождение расположено в пределах Чукотского нагорья, в северном отроге Анадырского хребта и является частью водораздела систем ручьёв Кээвеем, Пегтымель и реки Паляваам. Рудное поле расположено в верховьях правого склона долины ручья Кээвеем. Река Паляваам, находящаяся в 20 км южнее месторождения, является крупнейшей водной артерией в данном районе. С октября по май все мелкие водотоки перемерзают, река Паляваам в этот период имеет подрусловой сток по надмерзлотным таликовым зонам.

Учитывая особенности климатических условий подземные воды на данном участке подразделяются на два типа: надмерзлотный и подмерзлотный.

Надмерзлотные воды представлены водами сезонно и водами устойчивых надмерзлотных таликов (Григоров и др., 1980).

Сезонно-таловый слой содержится во всех четвертичных отложениях, но возникает лишь в летний период. Глубина сезонного протаивания пород варьирует от 0,4 до 1,4 м.

Таликовые воды относятся к современным аллювиальным отложениям реки Паляваам. Сама таликовая зона имеет среднюю ширину 1,3 км и среднюю мощность 17 м. В летний период уровень стояния таликовых вод соответствует уровню воды в реке. Коэффициент фильтрации в силу генетической неоднородности отложений достаточно сильно разнится – от 17,6 до 72,4 м/сут (Григоров и др., 1980).

В анионном составе преобладают гидрокарбонаты, в катионном – ионы натрия и иногда кальция. Воды весьма пресные, минерализация

составляет 0.04-0.09 г/л, жёсткость – 0.32-0.56 мг/эквл, pH =5.6-6.8. Из микрокомпонентов присутствует малое количество Zn, Cu, Pb, Al.

Подмерзлотные воды приурочены к трещиноватым породам в основном триасового, реже мелового возраста. Водовмещающими породами являются алевролиты, песчаники, глинистые сланцы, кварцевые и кварц-полевошпатовые порфиры (Григоров и др., 1980). Глубина залегания приурочена к подошве вечной мерзлоты и составляет 190-320 метров. Величина напоров примерно 220-230 м. Мощность подмерзлотной зоны трещиноватости, в которой обнаруживается вода, составляет по данным предварительных исследований 80-100 метров. Породы месторождения слабопроницаемы, геофильтрационные параметры крайне невелики. Водопроницаемость колеблется от 0.0006 до 0.01 м²/сут. В некоторых зонах тектонической ослабленности пород эти параметры повышаются до десятых долей единицы.

Подмерзлотные воды существуют практически без внешних источников питания. Высокие напоры, зафиксированные в 80-х годах при разведке месторождения, были обусловлены искусственным нагнетанием воды при бурении разведочных скважин. В настоящий момент по данным бурения геологоразведочных и гидрогеологических скважин с горизонтов плюс 80 и плюс 20 можно сделать вывод, что подмерзлотный водоносный горизонт существенно дренирован горными работами, проводимыми на горизонтах от плюс 100 до минус 40. Большая часть геологоразведочных скважин необводненные, а в обводненных скважинах в настоящий момент фиксируется незначительный напор подземных вод, сохраняющийся первые несколько суток после бурения.

По условиям ведения горных работ месторождение «Майское» относится к группе месторождений с *простыми гидрогеологическими условиями*. Данное заключение производится на основании двух факторов. Первый – это повсеместное распространение вечной мерзлоты на территории рудника. Вторым определяющим гидрогеологическим фактором – это относительно малая водопроницаемость трещиноватых горных пород в

подмерзлотной водоносной зоне и отсутствие питания подмерзлотного водоносного горизонта.

3.2 Гидрогеохимические исследования

В процессе производства мерзлотно-гидрогеологических исследований на Майском золоторудном месторождении были отобраны многочисленные пробы воды. Всего было отобрано 19 проб с горизонтов +20 и -20 во время проведения гидрогеологических съемок и опытно-фильтрационных работ.

Данные, полученные в результате современных исследований и данные отчёта 80-х годов позволяют сравнить такие показатели, как концентрацию анионов, катионов, общую жёсткость, pH.

В старых отчётах указано, что воды по своему химическому составу сульфатные, с повышенным содержанием хлора, однако делается примечание, что повышенное содержание связано с буровыми процессами. Результаты анализов 2017 года показывают, что воды сохранили свой сульфатный состав, концентрация SO_4^{2-} колеблется от 1.2 до 4 мг/л (0.8-6 мг/л в 80-х годах). Повышенного содержания хлора не наблюдается, его концентрация, вероятно, соответствует естественным показателям. Показатели нитритов в целом коррелируют друг с другом, их количественных величины составляют в среднем 0.1-0.3 мг/л в обеих сериях определений, что свидетельствует о антропогенном загрязнении. Остальные анионы определены в достаточно малых концентрациях. Следует отметить, что согласно архивным данным эти элементы в принципе не были обнаружены, что говорит об их отсутствии или чрезвычайно малой концентрации в то время. В целом можно сделать заключение, что помимо повышенной концентрации хлора (которая была обусловлена антропогенным воздействием), анионный состав изменился незначительно. Относительно катионного состава прежде всего стоит отметить уменьшение содержания натрия и калия относительно данных по отчёту 80-х годов.

Указанные там концентрации колеблются в среднем диапазоне 1-10 мг/л, тогда как по современным данным их сумма не превышает первые десятые доли мг/л. Однако в архивных данных некоторые значения совпадают с новыми, поэтому значительную разницу можно объяснить человеческим фактором. Количество кальция и магния в целом совпадает со старыми данными. Общее количество железа достаточно сильно возросло, если раньше оно не было обнаружено в принципе, то сейчас его максимальные концентрации составляют около 50 мг/л.

В целом, возможные различия с данными экспедиций 80-х годов связаны с тем, что в то время отбор воды шёл с поверхностных скважин, тогда как все современные пробы брались непосредственно в подземных выработках, в связи с этим, высотная разница может оказывать существенное влияние.

Современная жёсткость воды колеблется в районе 30-90 мг-экв/л с минимум с значением в 25 мг-экв/л и максимум в 104 мг-экв/л, что характеризует её как очень жёсткую. Сильных изменений относительно архивных данных не наблюдается.

Показатель pH по результатам испытаний характеризуется частично нейтральным, частично кислотным показателем, что говорит о достаточно сильных разностях в водосодержащей толще.

Отмечается различие в количестве взвешенных веществ в пробах, отобранных в разных частях месторождения, частично это связано с тем, что одни пробы отбирались из скважин, а другие – из трещин, тем не менее, в двух скважинах их концентрация достигает достаточно небольших значений.

Общее количество нефтепродуктов очень мало и постоянно во всех отобранных пробах за исключением одной точки отбора, поэтому возможно это связано с каким-то очень локальным техногенным загрязнением, тем более, что последующие анализы данной аномалии не выявили.

Сухой остаток присутствует во всех пробах, и его концентрация составляет не менее 3 г/л.

Следует отметить, что две пробы дважды отбирались в одних и тех же точках с разницей в неделю, что позволяет проследить изменение состава за короткий промежуток времени. На одной из них наблюдается уменьшение гидрокарбонатов в десять раз, снижение хлоритов в два раза, однако сульфатизация выросла в более чем полтора раза. Вторая точка располагается всего в 40 метрах от первой, поэтому по большей части в ней наблюдается сходная картина, за исключением содержания хлоритов – оно практически неизменно. Так как никаких природных процессов за данный период времени не произошло, то следует считать, что эти изменения связаны с техногенным воздействием.

Ещё две пробы были отобраны с разницей в две недели на +20 горизонте в разведочной скважине. Результаты показывают, что произошло уменьшение количества хлора в три раза, увеличилась сульфатизация, содержание кальция и калия уменьшилось в два раза, а магния наоборот увеличилось. Все эти изменения чётко показывают, что вода химический состав воды не статичен, он изменяется во времени и интенсивно подвергается антропогенному влиянию.

Дважды отбирались пробы из одной скважины, до и во время откачки, однако серьёзного изменения химического состава не произошло, лишь значительно выросло количество взвешенных веществ. Это указывает на тот факт, что откачка проводилась из скважины, очищенной от воздействия буровых работ.

3.3 Гидрогеологическая съёмка

Гидрогеологическая съёмка является обязательным полевым исследованием, в результате которого изучается водоносность горных пород и устанавливаются места возможного водопроявления.

Мерзлотно-гидрогеологическая съемка рудника Майского месторождения проводилась раз в неделю во время полевых работ в сентябре – октябре 2017 года.

Мерзлотно-гидрогеологическую съемку можно разделить на два этапа:

- гидрогеологическая съемка рудника в зоне проведения подземных горных работ;
- мерзлотная съемка рудника с целью выявления зоны распространения многолетнемерзлых пород;

Гидрогеологическая съемка зоны подземных горных работ включала в себя объезд всех горизонтов разрабатываемого месторождения с документированием всех возможных источников подземной воды. По результатам съемки было выявлено 32 точки вод проявлений, приуроченных к трещиноватым зонам и скважинам разведочного бурения.

На верхних горизонтах, практически повсеместно развита зона вечной мерзлоты. Нижняя граница многолетнемерзлых пород, в районе ведения горных работ, проходит по отметкам плюс 80÷100. Водопритоки не выявлены, зафиксирована лишь одна точка, в которой фиксируется водопристок с почвы выработки на +80 горизонте.

В большинстве точек водоявления незначительны и выражено слабыми капелями из трещиноватой зоны или из разведочных скважин и анкеров.

На некоторых горизонтах отмечалось подтопление подошвы выработки, уровень воды не позволял передвигаться пешком и составлял 15-40 см.

В руднике оборудовано два водосборника на разных горизонтах. В настоящий момент в водосборник на плюс верхнем горизонте вода не поступает. К водосборнику на нижнем горизонте подведены дренажные канавы, был отмечен очень слабый переток вод.

В целом отмечается, что все водопрооявления относятся к трещинам или образуются в результате антропогенного влияния (анкеры, скважины). Данный факт в дальнейшем позволил сделать вывод о процессах, происходивших во время опытно-фильтрационных работ.

4. Анализ ранее выполнявшихся гидрогеологических работ

За период 1975-1980 гг. на Майском месторождении был проведён обширный ряд гидрогеологических работ. Данные работы, помимо всего прочего, включали в себя опытно-фильтрационные работы, в результате анализа которых были сделаны выводы о фильтрационных параметрах подмерзлотного водоносного горизонта. В пределах рудного поля для оценки водных свойств пород выполнялись гидрогеологические работы в 18 разведочных и 10 гидрогеологических скважинах.

В связи со слабой водообильностью пород откачки осуществляли с помощью желонки на максимально возможные понижения уровня, а затем проводили наблюдения за восстановлением уровня. Средняя продолжительность опыта составляла около 40 часов.

Одна из задач данной работы заключалась в ревизии данных почти сорокалетней давности с использованием современных программных средств, а именно программы «ANSDIMAT» (автор Синдаловский Л.Н.).

«ANSDIMAT» – программный комплекс, предназначенный для аналитической и численной обработки опытно-фильтрационных опробований прямыми и обратными методами для большинства из существующих в настоящее время расчетных схем. В программном комплексе реализованы нестационарные и стационарные аналитические решения для напорного и безнапорного плано-неоднородного пласта, водоносных комплексов с учетом перетекания и многослойных систем.

Для проверки фильтрационных параметров было выбрано восемь скважин. Пять из них являлись гидрогеологическими, остальные – разведочными. Разведочные скважины выбраны по причине того, что в области их влияния были выделены зоны повышенной трещиноватости, что играет важнейшую роль для создания геофильтрационной модели исследуемого поля.

Для условий Майского месторождения, в связи с незначительной обводненностью подмерзлотного водоносного комплекса, целесообразно использовать схему экспресс-опробования.

Уравнение нестационарной фильтрации. Решение Купера для экспресс-опробования при мгновенном изменении начального уровня (Cooper et al, 1967):

$$s_w = s^0 F_s \left(\frac{Tt}{r_c^2}, \frac{r_w^2}{r_c^2} S \right),$$

где:

$$F_s(u, \beta) = \frac{8\beta}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{\exp(-u\tau^2/\beta)}{[\tau J_0(\tau) - 2\beta J_1(\tau)]^2 + [\tau Y_0(\tau) - 2\beta Y_1(\tau)]^2} \frac{d\tau}{\tau}$$

r_w, r_c – радиус опытной скважины и ее обсадной трубы, м;

S – водоотдача водоносного пласта;

s^0 – начальное (мгновенное) изменение уровня в опытной скважине, м;

s_w – восстановление уровня в опытной скважине, м;

T – проводимость водоносного пласта, м²/сут;

t – время от начала восстановления, сут.

Графические результаты обработки откачек приведены на рисунках 3-10. Для определения параметров используется способ подбора.

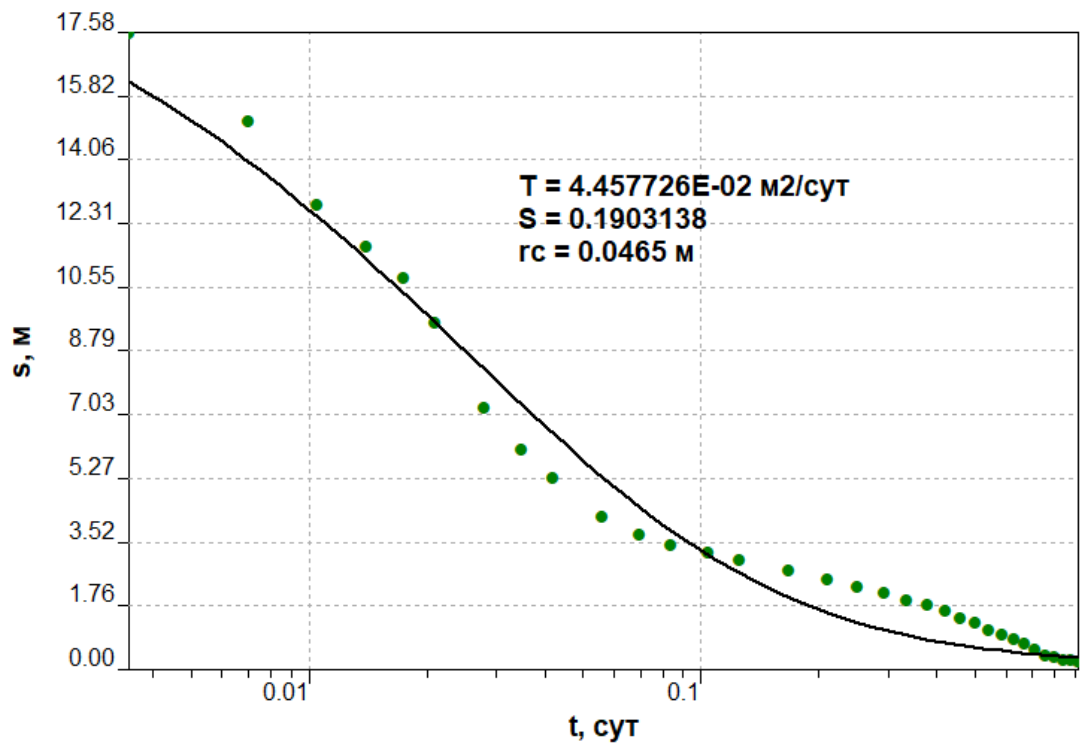


Рисунок 3 График временного прослеживания скважины. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 37)

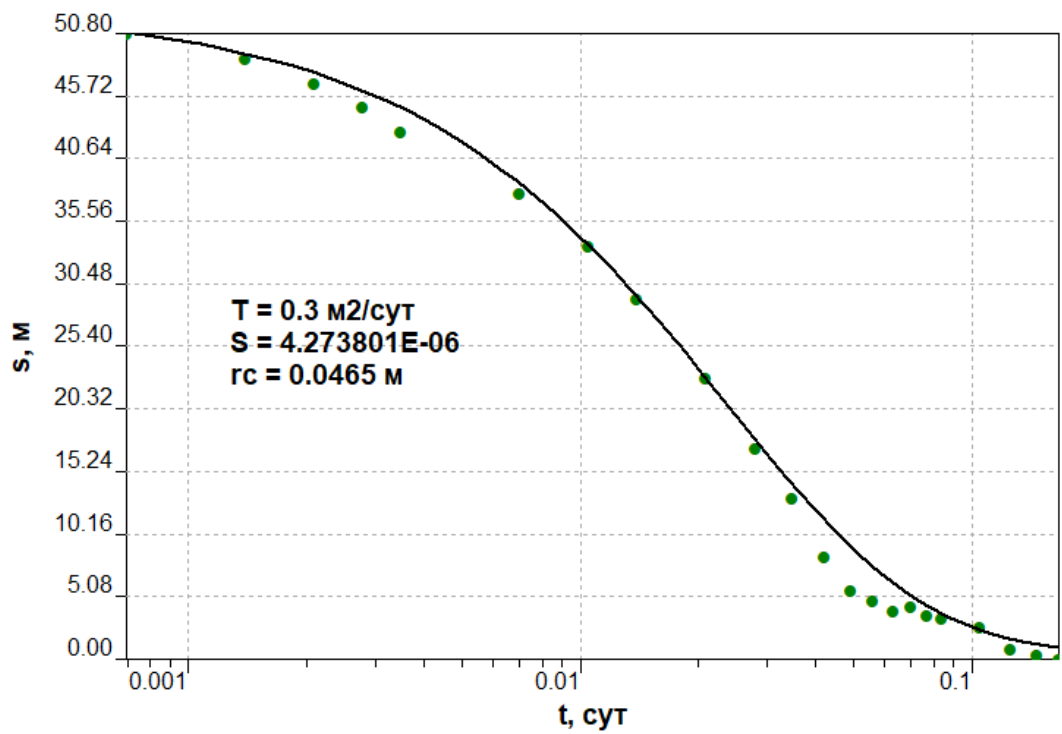


Рисунок 4 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 109)

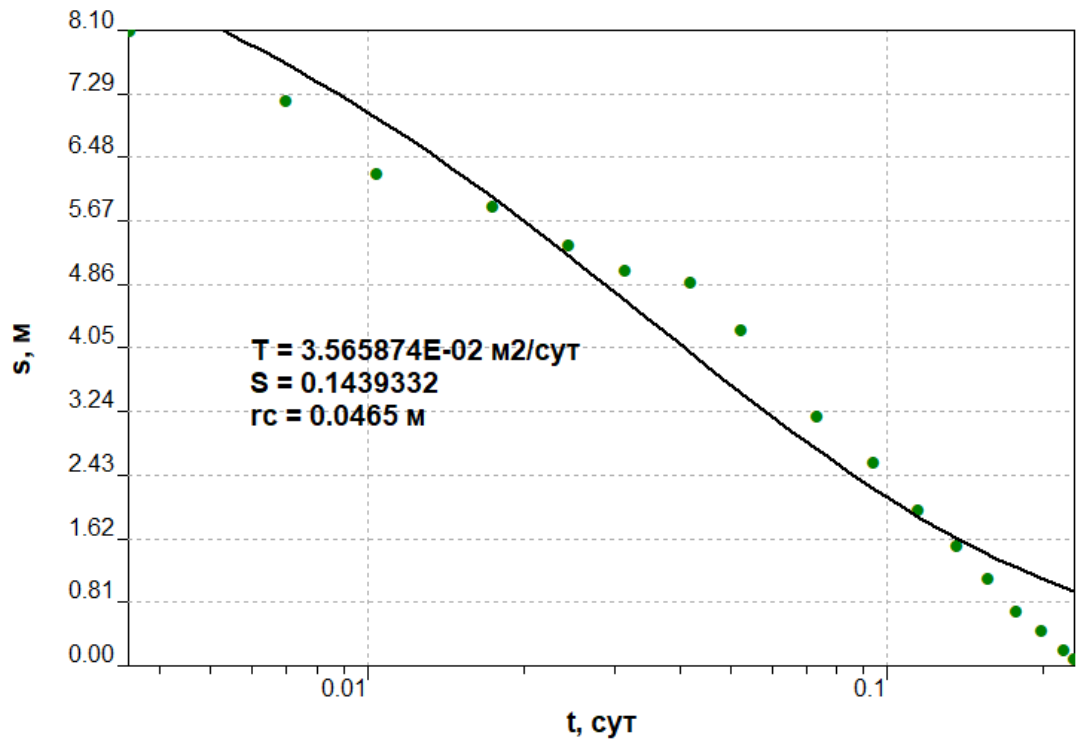


Рисунок 5 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 772)

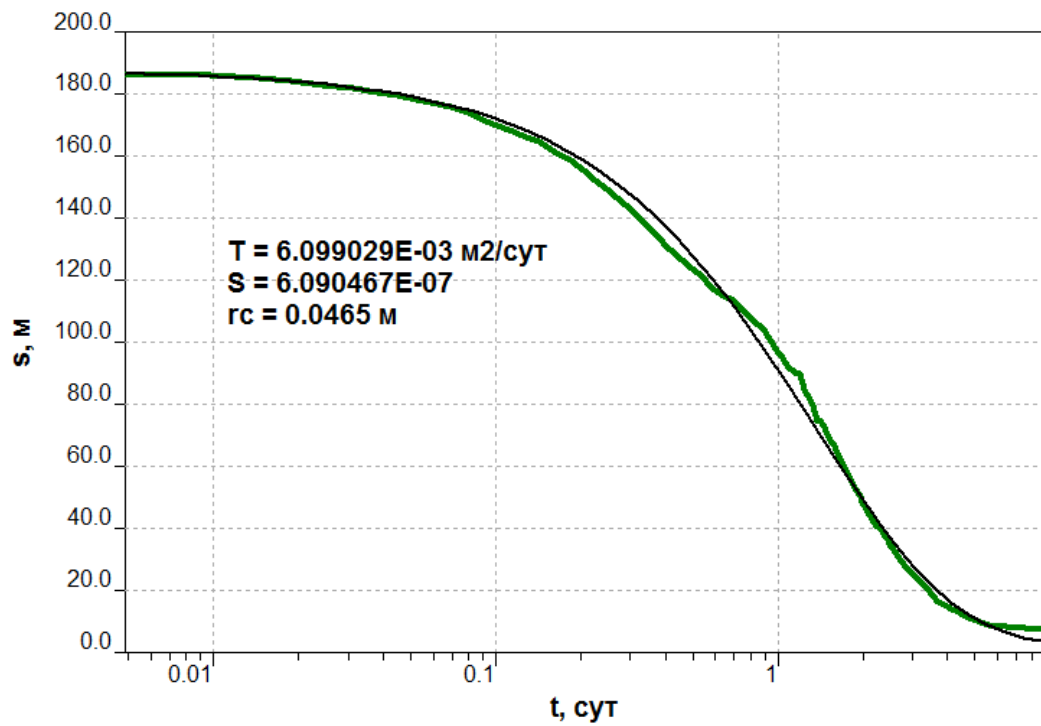


Рисунок 6 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 600г)

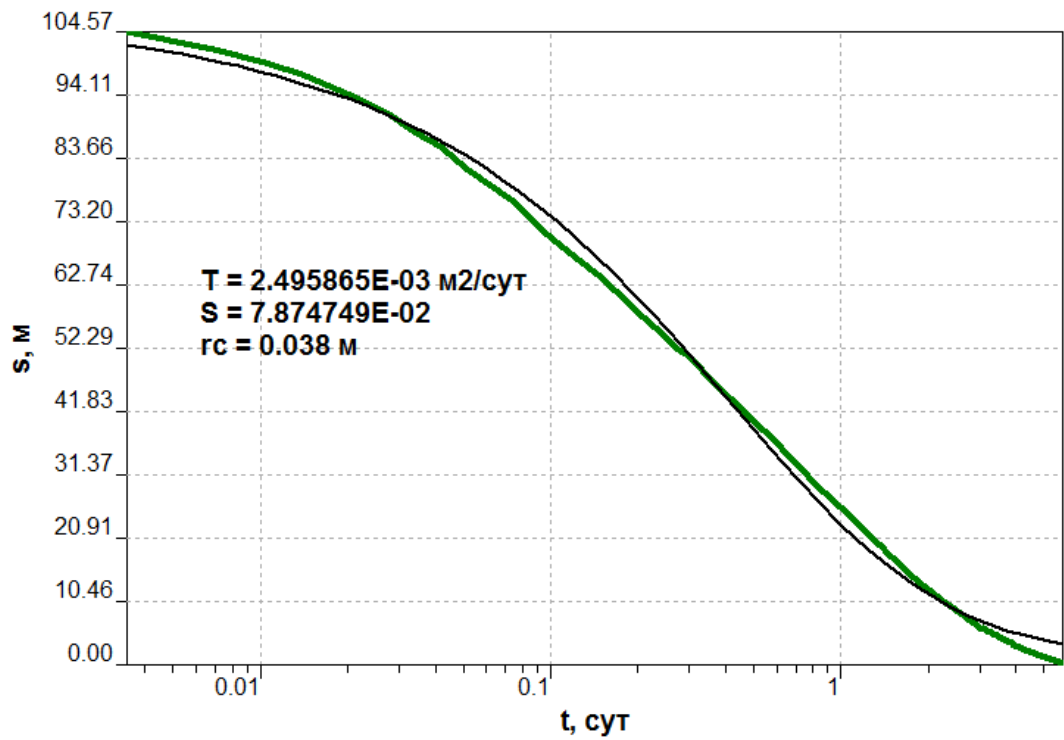


Рисунок 7 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 1059г)

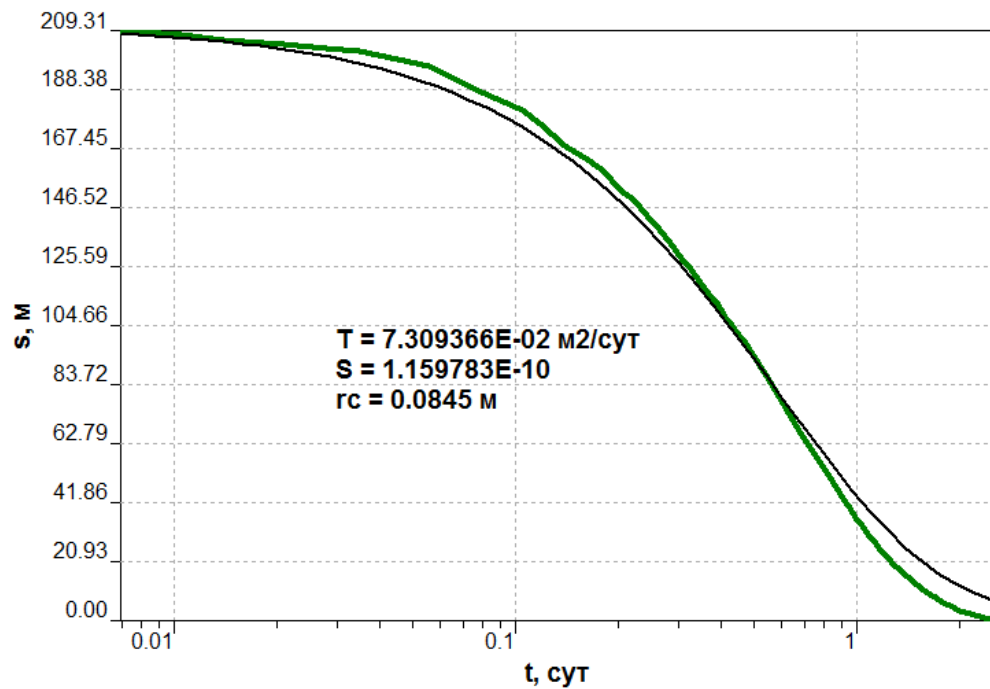


Рисунок 8 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 1060г)

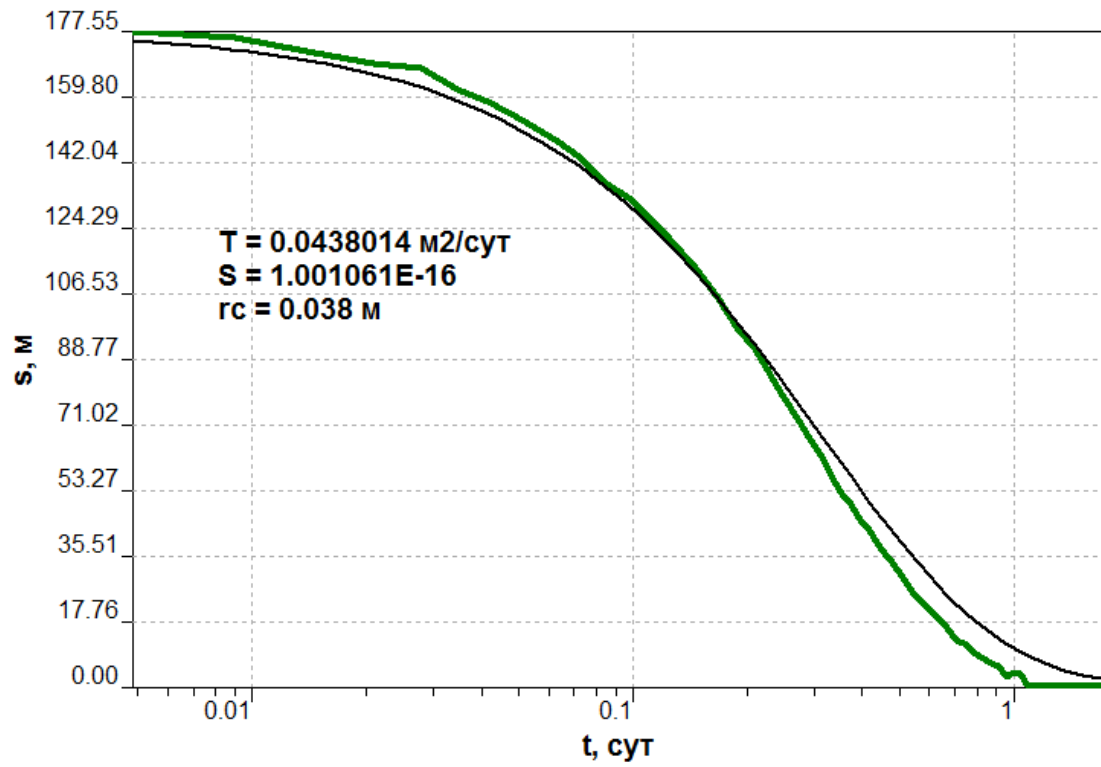


Рисунок 9 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 1061г)

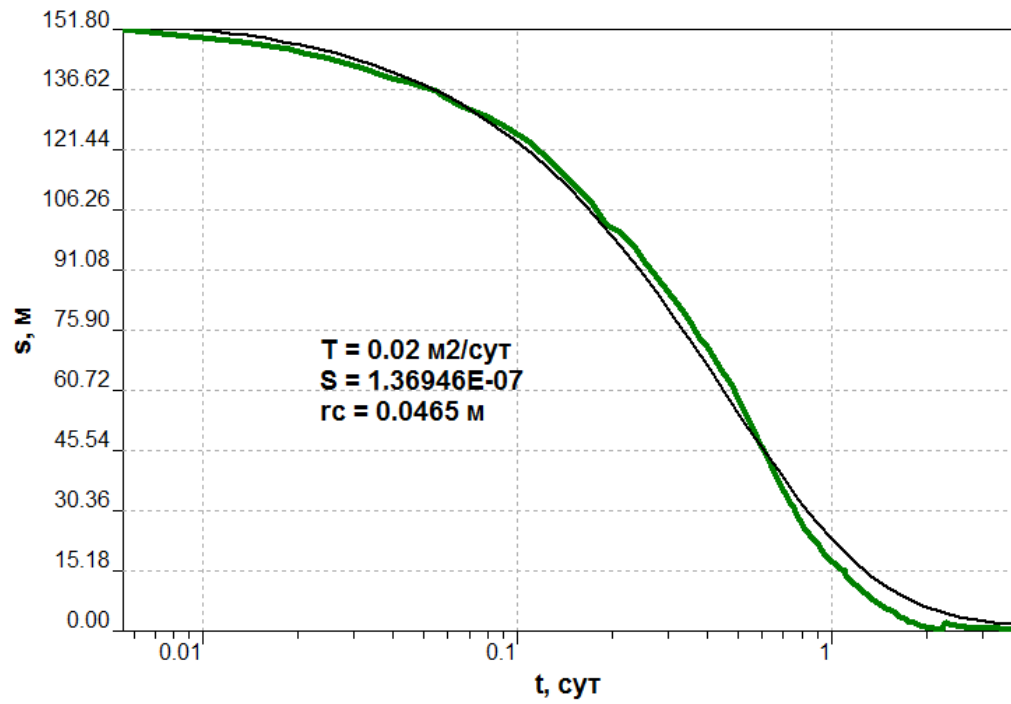


Рисунок 10 График временного прослеживания. График построен по фактическим данным восстановления уровня, отсчитанного от начала откачки (скважина 1062г)

По результатам повторной обработки ОФР 80-х была составлена сводная таблица фильтрационных параметров водоносных пород и проведен сравнительный анализ данных и представлен в таблице 1:

Таблица 1 Результаты опытно-фильтрационных работ, проведенных в восьмидесятих годах прошлого века

№ п/п	Номер скважины	Понижения уровня воды, м	Водопроницаемость, м ² /сут	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водопроницаемость Т, м ² /сут (ANDSDIMAT)	Коэффициент фильтрации, м/сут (ANDSDIMAT)
1	600г	180.3	0.0017	0.00001	0.0061	0.0005
2	1059г	108.5	0.03	0.0025	0.0025	0.0002
3	1060г	177.6	0.014	0.00016	0.07	0.0008
4	1061г	159.5	0.004	0.00006	0.044	0.00065
5	37	88.2	0.1	-	0.045	-
6	109	58.6	0.09	-	0.3	-
7	772	12.4	0.23	-	0.036	-

Как видно из приведённой таблицы, результаты обработки приводят к некоторым расхождениям в значениях водопроводимости, что, вероятно, связано с разным подходом к обработке, а также с несовершенством ручной обработки откачек. Результат программной обработки предыдущих изысканий примерно совпадает с теми данными, которые получены по результатам современных одиночных откачек. Это, как минимум, говорит о том, что за время, прошедшее с начала разработки месторождения, гидрогеологические условия изменились мало.

5. Интерпретация и численное моделирование кустовой откачки

5.1 Описание откачки

Главным содержанием данной работы является получение геофильтрационных параметров на основе единственной кустовой откачки, проводившейся на Майском месторождении.

Цель практической части- подтверждение или опровержение ранее полученных геофильтрационных параметров в результате одиночных откачек.

Задачами практической части являются:

- 1) Интерпретация результатов кустовой откачки с использованием различных аналитических схем для центральной и наблюдательной скважины.
- 2) Применение различных подходов в численном моделировании для достижения поставленной цели.
- 3) Вывод об уместности использования численного моделирования при анализе такого рода материалов.
- 4) Рекомендации для дальнейшего возможного прогнозирования водопритоков в горные выработки.

Схема опытного куста приведена на рисунке 11.

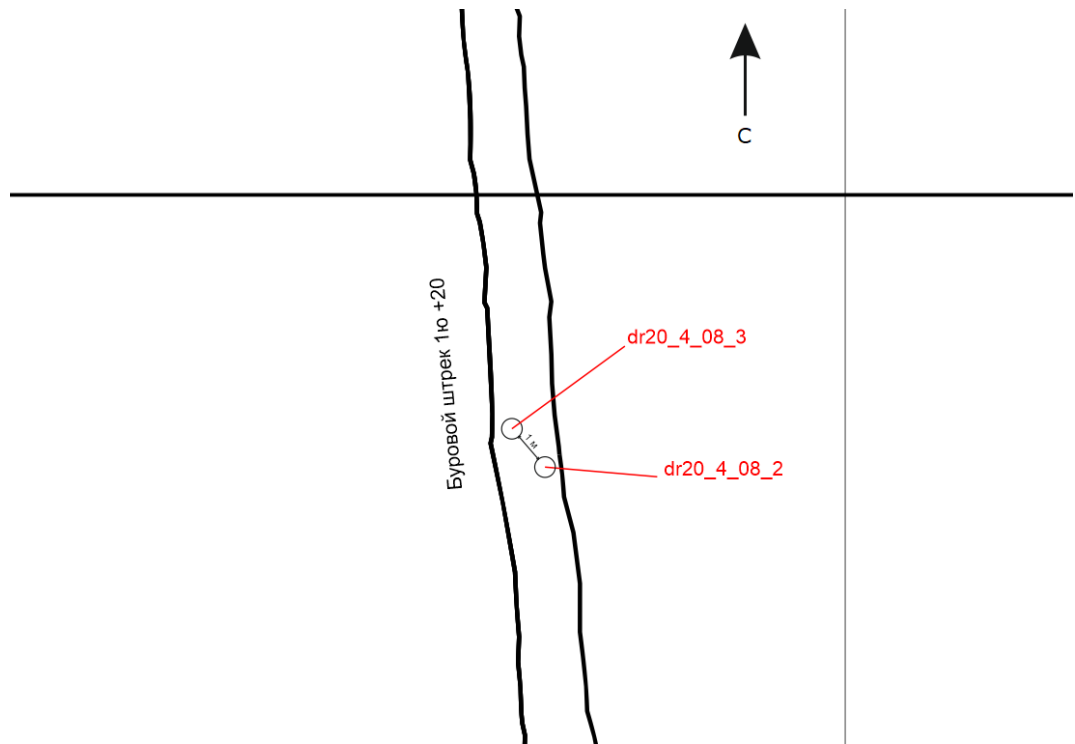


Рисунок 11 Схема опытного куста скважин на горизонте +20 Майского месторождения

Информация об откачке: данная откачка – единственная кустовая откачка, проводившаяся на Майском месторождении за всё время геолого-гидрогеологических изысканий (таблица 2). В процессе откачки наблюдения проводились только в одной скважине, помимо центральной. Устья скважин располагаются на расстоянии метра друг от друга, стоит отметить, что наблюдательная скважина находится под наклоном в 65° (рис. 12).

Таблица 2 Сведения об откачке

Сведения об откачке						
№ скв.	Диаметр скв, мм.	Дебит, л/сек	Дебит, м ³ /сут	Продолжительность откачки, мин	Понижение на конец откачки, м	удельный дебит, q, л/сек/м
Ц.с.	93	0.31	27	31.5	62.35	0.005
Н.с.	93				0.74	

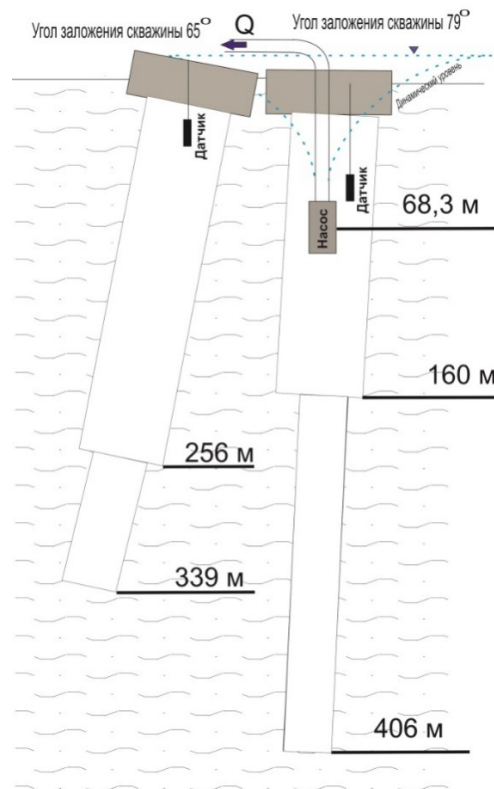


Рисунок 12 Схема расположения скважин опытного куста

5.2 Аналитическая обработка

Общий вид графиков понижения и восстановления уровня подземных вод в центральной и наблюдательной скважинах представлены на рисунках 13-16.

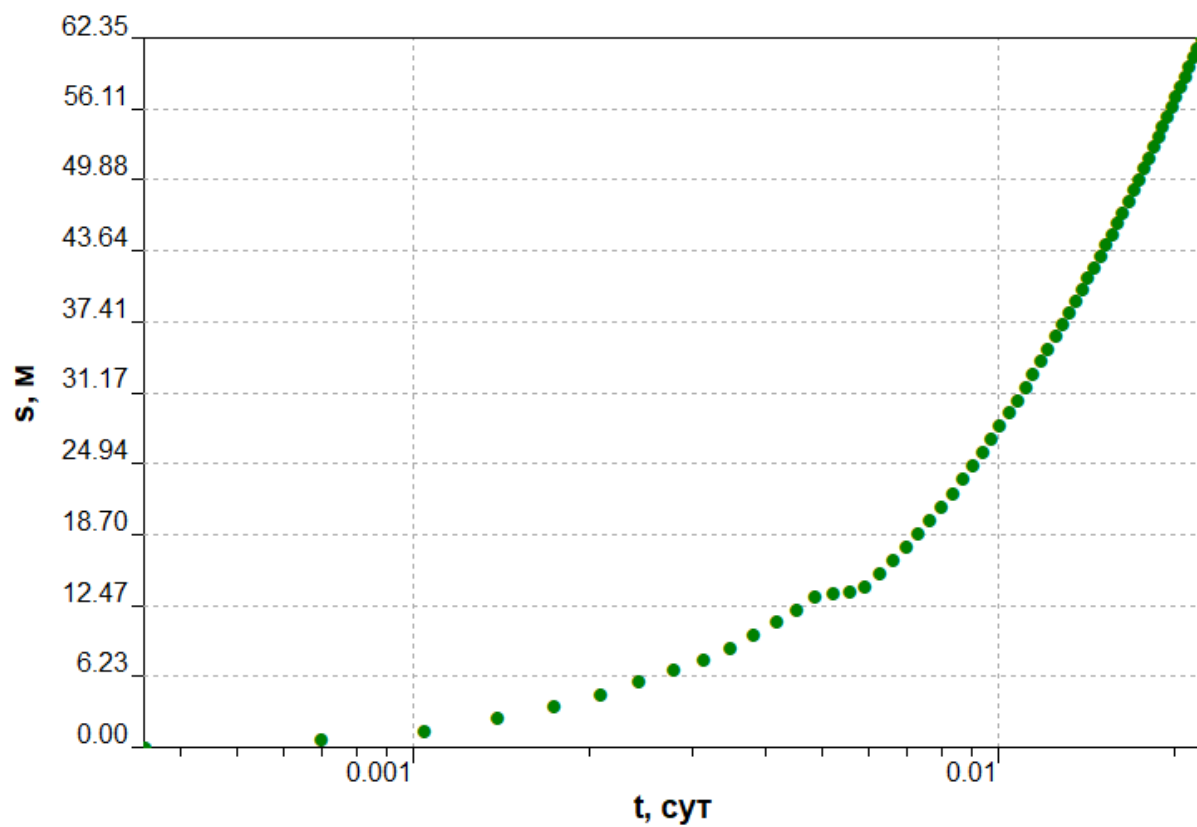


Рисунок 13 График понижения уровня в центральной скважине

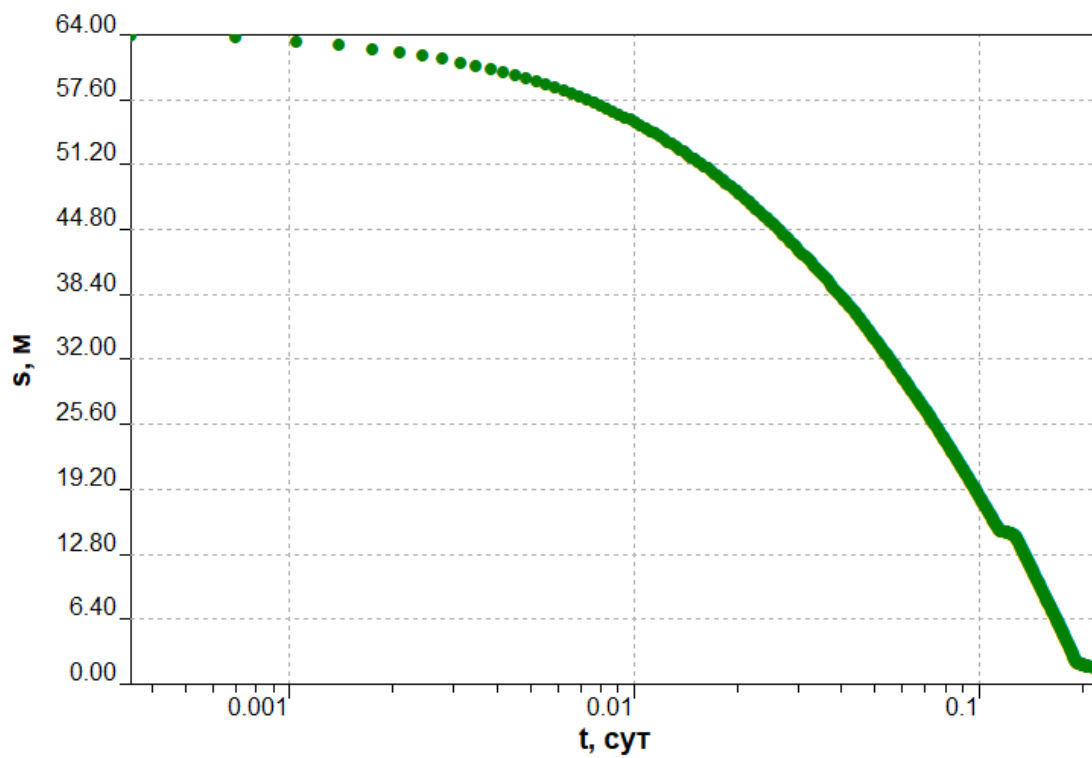


Рисунок 14 График восстановления уровня в центральной скважине

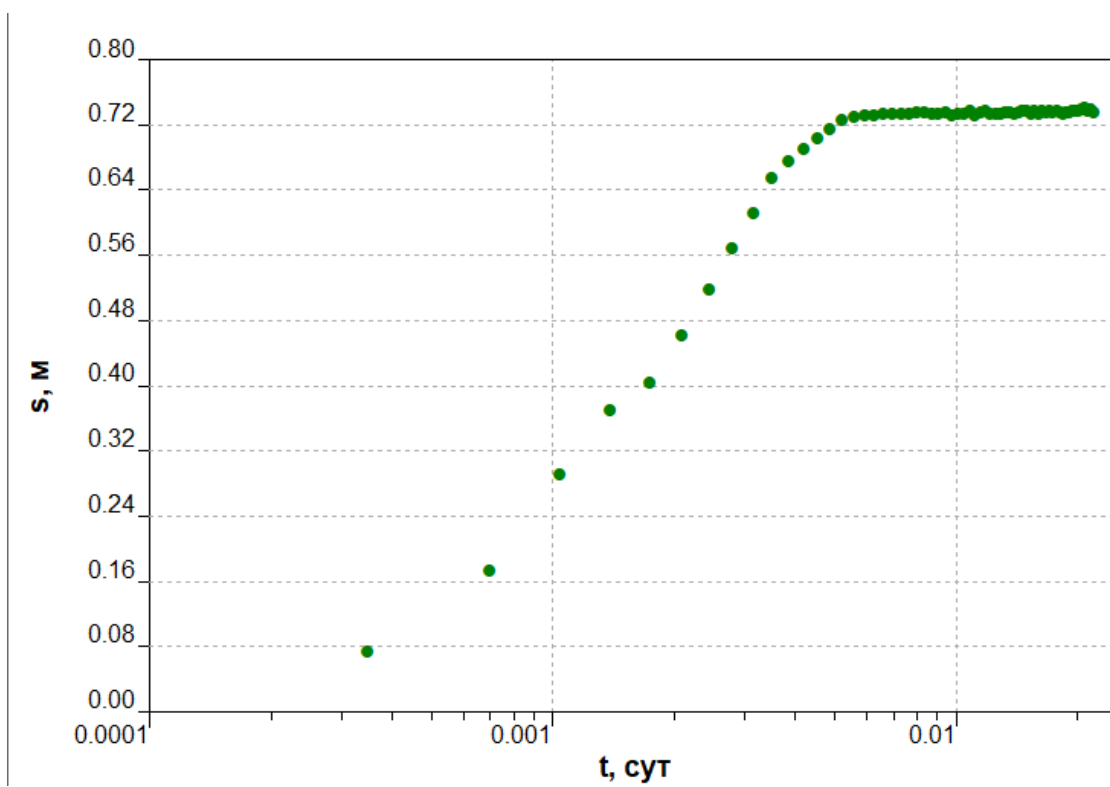


Рисунок 15 График понижения уровня воды в наблюдательной скважине

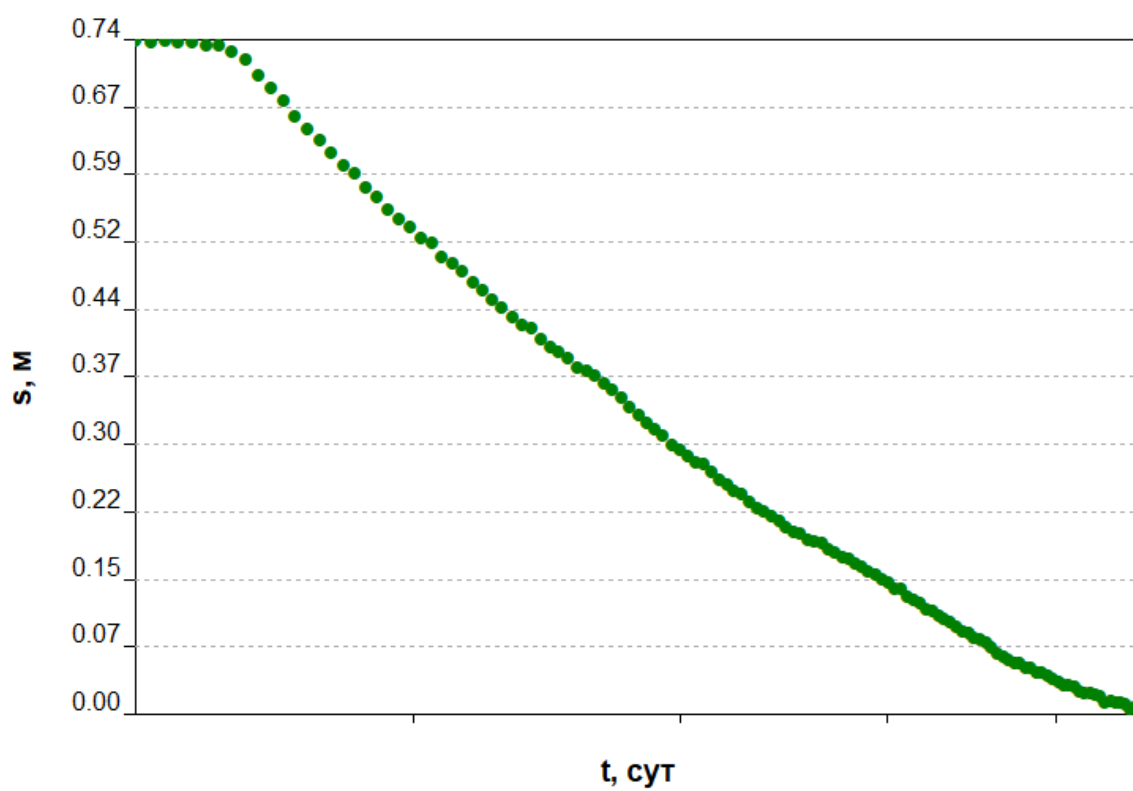


Рисунок 16 График восстановления уровня воды в наблюдательной скважине

Предварительной стадией интерпретации полученных данных является диагностика опытного режима откачки для выбора расчётной схемы.

Первой схемой при обработке стала схема Тейса, решение Тейса (Мироненко, Шестаков, 1980), в этом случае предполагается следующая схематизация. Водоносный пласт: напорный, изотропный, неограниченный в плане; понижение определяется в водоносном пласте на любом расстоянии от опытной скважины; режим снижения уровней: два периода – нестационарный и квазистационарный; в этой схеме используется базовое уравнение для понижения уровня:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at}\right)$$

где Q – расход, м³/сут;

T – водопроводимость м²/сут;

$W()$ – табулированная функция;

r – расстояние от точки откачки (радиус скважины) м;

a – коэффициент пьезопроводности м²/сут;

t – время, сут.

Следующая расчетная схема - решение Пападопулоса, предполагала учесть ёмкость скважины, так как стало очевидно, что вода, находящаяся непосредственно в ней, составляет значительную часть откаченного объёма.

Выбор следующей расчётной схемы был обусловлен предположением существования гетерогенной среды – трещин и блоков, на что указывают геологические отчёты и результаты собственных наблюдений. Для

подтверждения была выбрана схема двуслойного (гетерогенного) пласта, где один пласт имитирует трещины, а другой блоки породы.

Схема экспресс-опробования была выбрана для интерпретации восстановления уровня в опытной скважины, так как она применялась при обработке ранее проводившихся на месторождении одиночных откачек (см. выше).

Сводная информация по результатам обработки представлена в таблице 3.

Таблица 3 Сводная таблица геофильтрационных параметров

№	Название	Ц.С.								Н.С			
		Откачка				Восстановление				Откачка		Восстановление	
		$T \text{ м}^2/\text{сут}$	$k \text{ м/сут}$	$a^*, \text{ м}^2/\text{сут}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$k \text{ м/сут}$	$a^*, \text{ м}^2/\text{сут}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$k \text{ м/сут}$	$a^*, \text{ м}^2/\text{сут}$	$T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$k \text{ м/сут}$	$a^*, \text{ м}^2/\text{сут}$
1	Схема Тейса, решение Тейса	0.03	7.5E-05	0.1	-	-	-	4.3	0.01075	100	-	-	-
2	Схема Тейса, решение Пападопулоса	0.038	9.5E-05	0.1	-	-	-	6	0.015	220	-	-	-
3	Экспресс-восстановление	-	-	-	0.055	0.00014	137.5	-		-	-	-	-
4	Гетерогенная среда	-	-	-	-	-	-	1.2	0.003	1.20E+04	0.6	0.0015	5000

Анализируя полученные данные отмечается, что параметры водопроводимости и коэффициента пьезопроводности, полученные в наблюдательной скважине, на несколько порядков отличаются от тех, что получены в центральной скважине (равно как и при всех остальных откачках), при этом значения коэффициента пьезопроводности явно не соответствовали своим реальным значениям. Очевидно, что разница между параметрами, полученными в центральной и наблюдательных скважинах слишком велика, чтобы было возможно допустить осреднение.

Итак, возникает задача: какими параметрами следует руководствоваться для прогнозирования водопритоков в горные выработки?

Для решения поставленной задачи использовалось численное моделирование. Необходимо было подобрать параметры таким образом, чтобы расчётные понижения соответствовали фактическим. Для этого на первом этапе работе был использован программный комплекс GWF&GEM (автор Коносавский П.К.).

5.3 GWF&GEM

Программа GWF&GEM (Ground Water Flow&Geophysical Map) предназначена для моделирования двумерного (в разрезе пласта) фильтрационного потока подземных вод и порождаемого этим потоком фильтрационной составляющей естественного электрического поля (SP). Моделирование возможно в стационарной и нестационарной постановке для областей произвольной пространственной конфигурации.

Программа предназначена:

- для оценки возможности применения SP для исследования потока подземных вод на этапе планирования и проведения полевых работ
- для калибровки моделей фильтрации подземных вод на основе электрического потенциала, возникающего при фильтрации в пористой среде (streaming potential).

Программа построена на основе конечно-разностного метода решения дифференциальных уравнений в частных производных. Реализованы все стандартные типы граничных условий (ГУ) (I – IV рода) для задачи фильтрации и три типа ГУ для электрической задачи (Коносавский и др., 20016).

В данной работе использовался исключительно гидрогеологический модуль. Была проведена первоначальная схематизация условий по осям X и Z . Мощность толщи, вскрываемой скважиной составляет около 400 метров. В рамках задачи было проведено разбиение этой мощности на 13 слоёв по 30 метров каждый. По оси X ширина первого столбца в модели составила 0.0475 метра, что соответствует радиусу центральной скважины, дальнейшее увеличение ширины блока шло в соответствии с алгоритмами, заложенными в программе и не влияло на работу программы. Для имитации скважины в первой колонке задавался коэффициент фильтрации равный 1000000 м/сут – данное значение позволяет выравнивать напоры по всем блокам в каждый момент времени. Была задана временная разбивка в 25 временных шагов, начиная с $1 \cdot 10^{-4}$ суток, таким образом, последний временной шаг заканчивался на отметке $2.1875 \cdot 10^{-2}$ суток, что соответствует времени откачки. Так как при откачке работает весь ствол шахты, расход был равномерно распределён по последним 12 слоям (1 слой не использовался, так как он быстро осушался и становился нерабочим). В модели изменялись 2 параметра:

- Параметр Hydraulic conductivity – коэффициент фильтрации k , м/сут.
- Параметр Specific storage – удельная водоотдача η^* , 1/м.

Главным критерием верности полученных параметров было совпадение графиков понижения уровня фактических и полученных в результате моделирования (рис. 17)

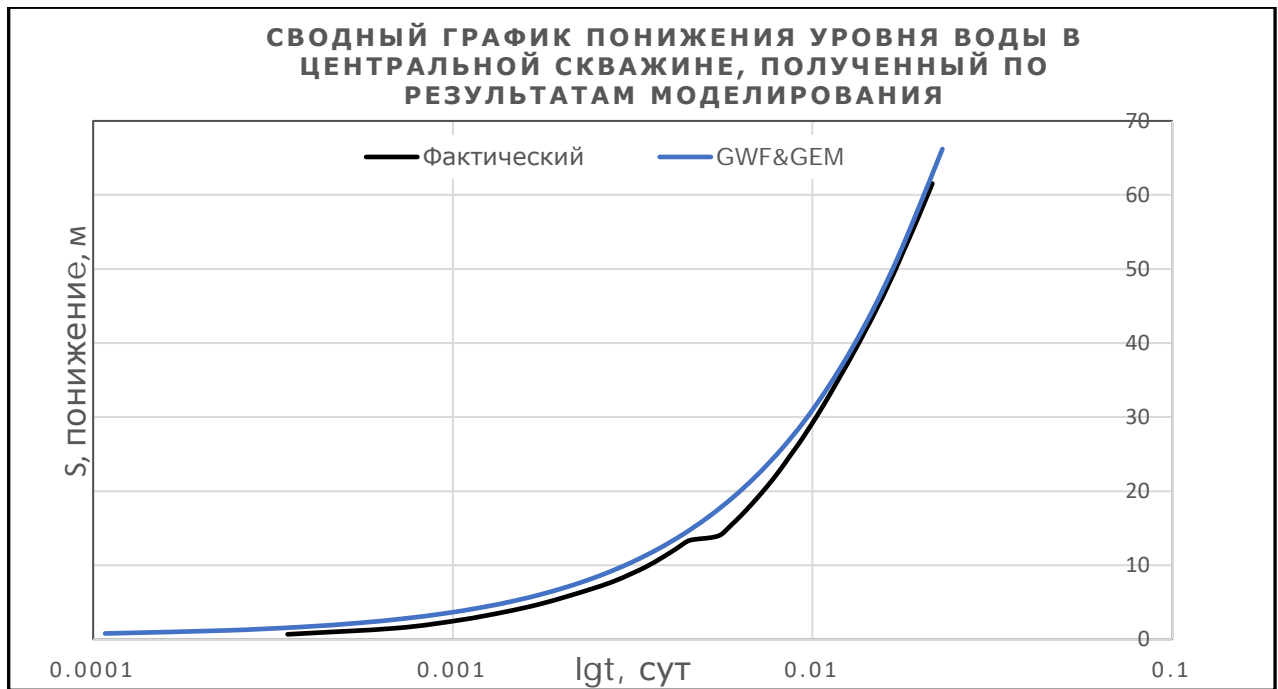


Рисунок 17 График понижения уровня воды при откачке

Данный график получился при подборе следующих параметров, представленных в таблице 4.

Таблица 4 Результаты подбора параметров в GWF&GEM

k , м/сут	0.000125
η^* , 1/м	6.75E-07
a^* , м ² /сут	1.85E+02

Таким образом, в результате подбора была сделана корректировка параметров, полученных при обработке с использованием аналитических схем – коэффициенты фильтрации различаются в среднем на порядок, а значение коэффициента пьезопроводности оказалось приблизительно равным тем, что были получены при обработке данных наблюдательной скважины. Однако это всё ещё не решало поставленной задачи – разброс значений коэффициентов фильтрации не позволял их привести к общему знаменателю.

Следующим шагом стал повторный анализ графиков понижения уровня с целью понимания физики процессов, происходящих при откачке (рис 5). Бросается в глаза прекращение понижения уровня на отметке 0.72 метра на момент времени равный 9 минутам. Учитывая, что откачка длилась полчаса, получается, что наблюдательная скважина реагировала на откачку лишь треть опыта. Явление стабилизации уровня как правило возможно в том случае, когда депрессионная воронка доходит до какой-то границы обеспеченного питания, однако в данном случае это не произошло, потому что мы не наблюдаем влияние этой возможной границы в центральной скважине.

Следует рассмотреть другой случай. В процессе проведения откачки был отмечен шум перетекания воды между скважинами. Следовательно, можно сделать предположение о трещине между скважинами. В таком случае, работает закон о сообщающихся сосудах (рис. 18).

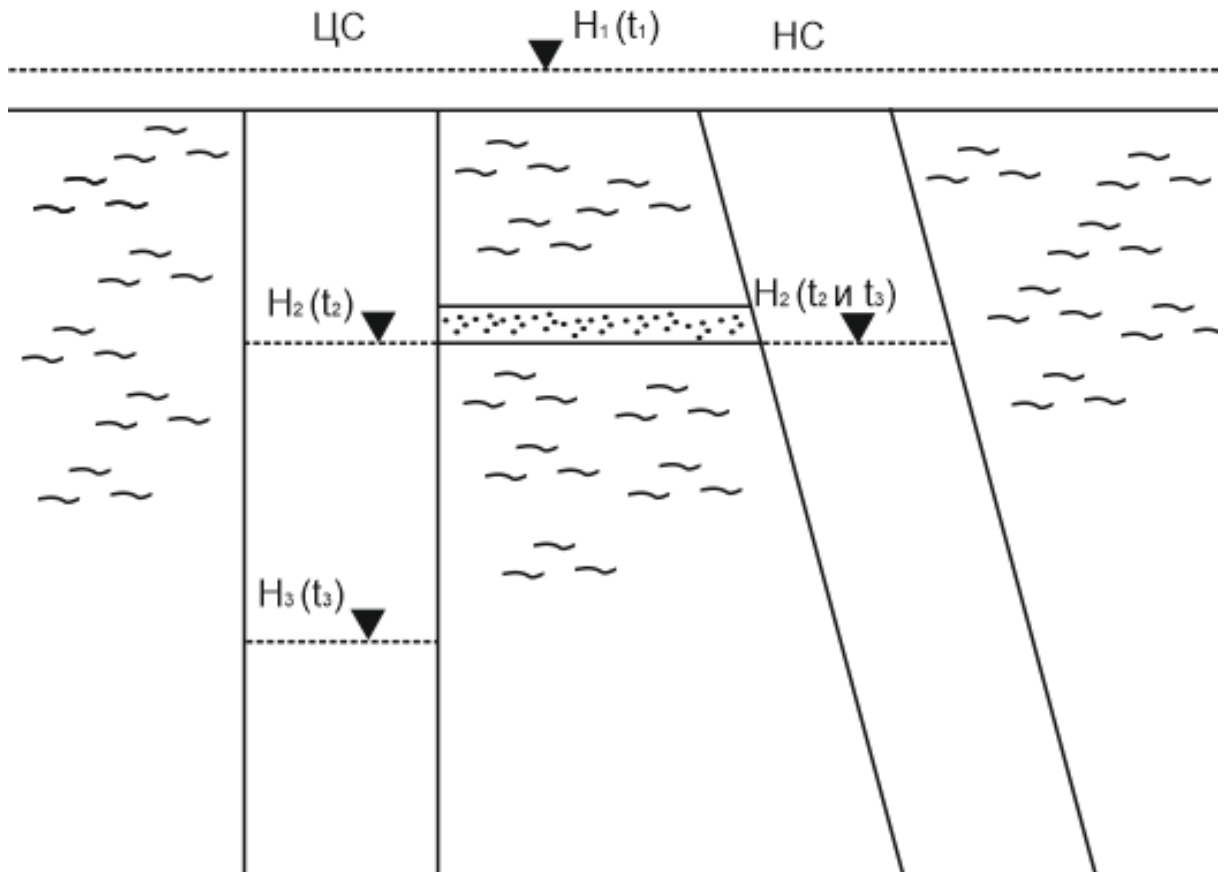


Рисунок 18 Схематичное изображение схемы понижения уровня

На данном рисунке H_1 соответствует естественному уровню подземных вод на момент начала откачки – t_1 . H_2 – уровень воды на момент $t_2=9$ минутам – момент, когда произошла стабилизация уровня в наблюдательной скважине. H_3 – уровень воды в центральной скважине на момент окончания откачки на момент $t_3 = 31.5$ минутам. Однако при этом уровень в наблюдательной скважине всё так же равен H_2 . Возникает ряд вопросов: если существует трещина с, очевидно, гораздо более высокими фильтрационными параметрами, чем у окружающих её пород, то какое её влияние на центральную скважину; чем эта трещина может быть сложена; как доказать её наличие с использованием численного моделирования.

Для ответа на первый вопрос откачка была разбита на два этапа – до и после осушения предполагаемой трещины. Оказалось, хотя графики на этих двух этапах хоть и имеют некоторые различия, но они слишком незначительны, поэтому были сделаны следующие выводы:

- Откачку в центральной скважине не имеет смысла делить на два этапа, у графиков понижения уровня нет принципиальной разницы.
- Точность счёта модели в данном случае не позволяет адекватно найти различия в параметрах.

Следовательно, делается предположение, что в данном случае центральная скважина, трещина и наблюдательная скважина, работает как единая система и являются по сути одной центральной скважиной. Действительно, если прибавить к объёму центральной скважины объём возможной трещины и объём наблюдательной скважины до уровня 0.72 метра от устья, то окажется, что в перерасчёте на радиус их влияние будет минимальным – изменения будет лишь в 4 знаке после запятой.

В результате было установлено, что в данном случае, в данной откачке, трещина не оказывает значительного влияния на значения уровней и именно поэтому анализ по схеме Тейса, решением Пападопулоса давал такое хорошее схождение аналитической кривой с фактическим понижением (рис. 19).

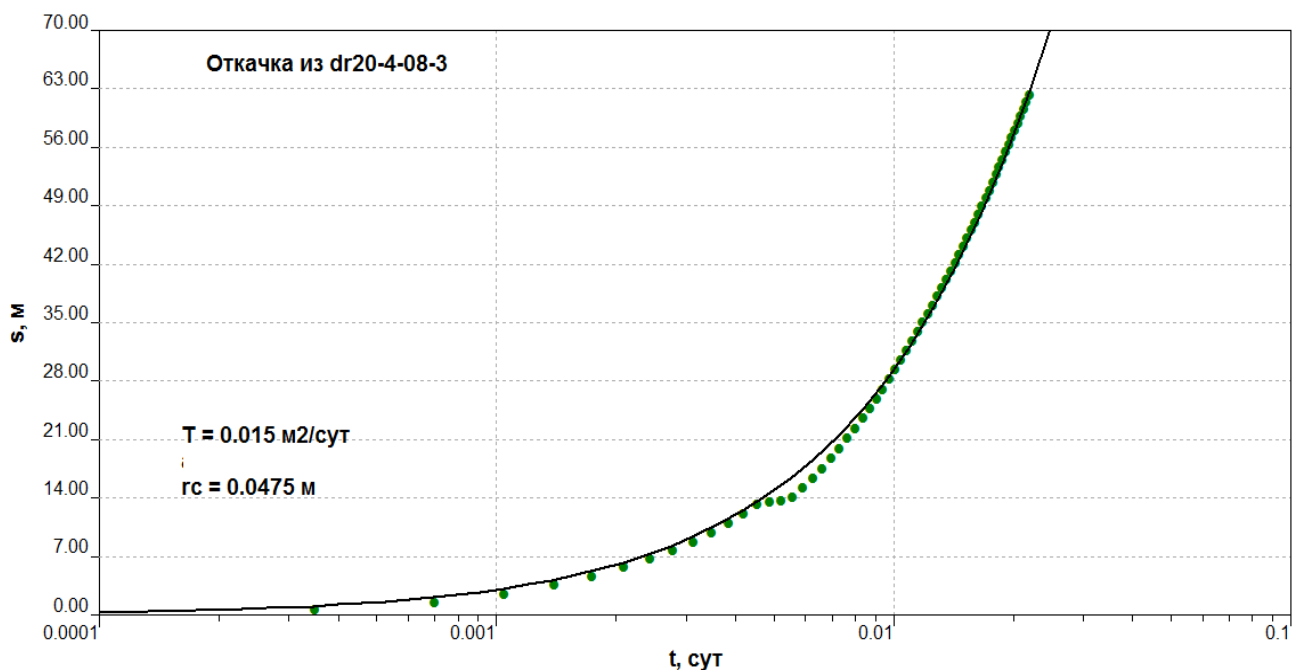


Рисунок 19 Обработка результатов откачки из центральной скважины по схеме Тейса, решение Пападопулоса для понижения в центральной скважине

Таким образом, определилась главная и последняя цель работы – получить параметры водопроводимости для трещины, соединяющей центральную и наблюдательные скважины, так как по геологическим данным известно, что вмещающие породы являются трещиноватыми, а значит можно с уверенностью утверждать, что вся геологическая толща может быть пронизана такими трещинами. Как следствие, в случае вскрытия подобных трещин подземными горными выработками может начаться интенсивный переток воды между различными горизонтами или же из какого-либо подземного резервуара.

Для этой цели GWF&GEMоказалась неприменима по причине того, что она позволяет задавать только профильную неоднородность, а для решения поставленной задачи необходима была плановая неоднородность в одном направлении.

По этим причинам следующим инструментом был выбран программный комплекс Processing Modflow (PM5.3, авторы Wen-Hesing Chiang, Wolfgang Kinzelbach).

5.4 Processing Modflow

PM – это программный пакет, предназначенный для моделирования потока подземных вод и процессов переноса, включающая моделирующую трехмерную конечно-разностную модель потока подземных вод MODFLOW Геологической службы США (McDonald и др., 1988), модель прослеживания пути частиц PMPATH для Windows (Chiang, 1994) или MODPATH (Pollock, 1988, 1989, 1994), вычислительные модели переноса MT3D и MT3D96 (Zheng, 1990, 1996) и программу оценки параметров PEST (Doherty и др., 1994). С момента первого выпуска MODFLOW множество программ были разработаны для моделирования специфических особенностей гидравлических систем. MODFLOW может имитировать действие скважин, рек, дренажа, зависящих от положения уровня границ, питание и эвапотранспирацию. PMWIN также поддерживает вычисление упругих и жестких сжатий (деформаций)

водоносного горизонта вследствие изменения гидравлических напоров (Chiang, Kinzelbach, 1980).

Для решения поставленной задачи была создана вторая численная геофильтрационная модель. По причине того, что было необходимо смоделировать достаточно тонкую трещину была выбрана следующая разбивка. По профилю создано 18 слоев, общей мощностью 390.1 метров (таблица 5)

Таблица 5 Профильная разбивка модели на РМ

Но мер слоя	Мо щность, м
1	1
2	0.1
3	1
4	3
5	10
6	15
7	30
8	30
9	30
10	30
11	30
12	30
13	30
14	30
15	30
16	30
17	30
18	30

Как видно из разбивки, последние 12 слоёв по мощности аналогичны тем, что были заданы в GWF&GEM, а первый разбит таким образом, чтобы была возможность для задавания трещины с учётом погрешности счёта при резком изменении геометрии блоков.

Плановая разбивка задавалась стандартным образом при моделировании скважин (рис. 20). Для моделирования двух рядом

расположенных скважин были заданы два блока с параметрами 0.1 на 0.1 метр на расстоянии одного метра (рис. 21).

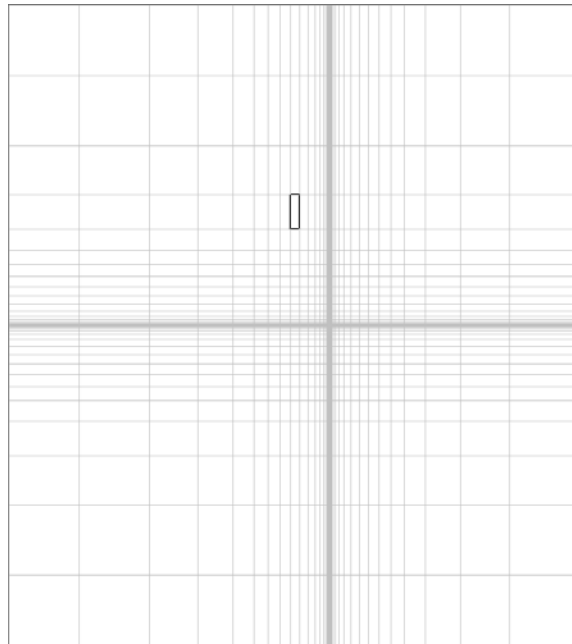


Рисунок 20 Общий вид разбивки без приближения

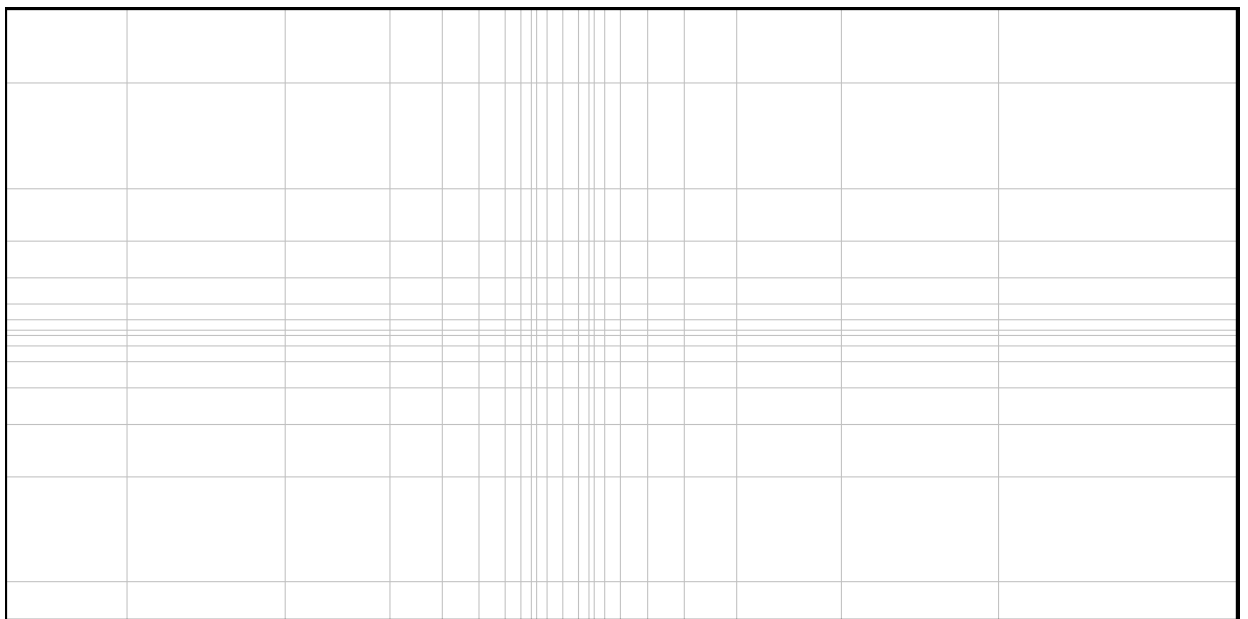


Рисунок 21 Масштабированная разбивка, две скважины на расстоянии метра друг от друга

Для того, чтобы приступить к работе с трещиной необходимо вначале было проверить достоверность параметров, полученных при работе на GWF&GEM. Для этого в центральной скважине с помощью параметра Boreholes and Observations была размещена точка наблюдения за уровнем

воды. Работа насоса так же, как и в случае GWF&GEM равномерно задавалась в 12 последних слоях с расходом в каждом блоке в $2.25 \text{ м}^3/\text{сутки}$. В результате получился график представленный на рисунке 22.

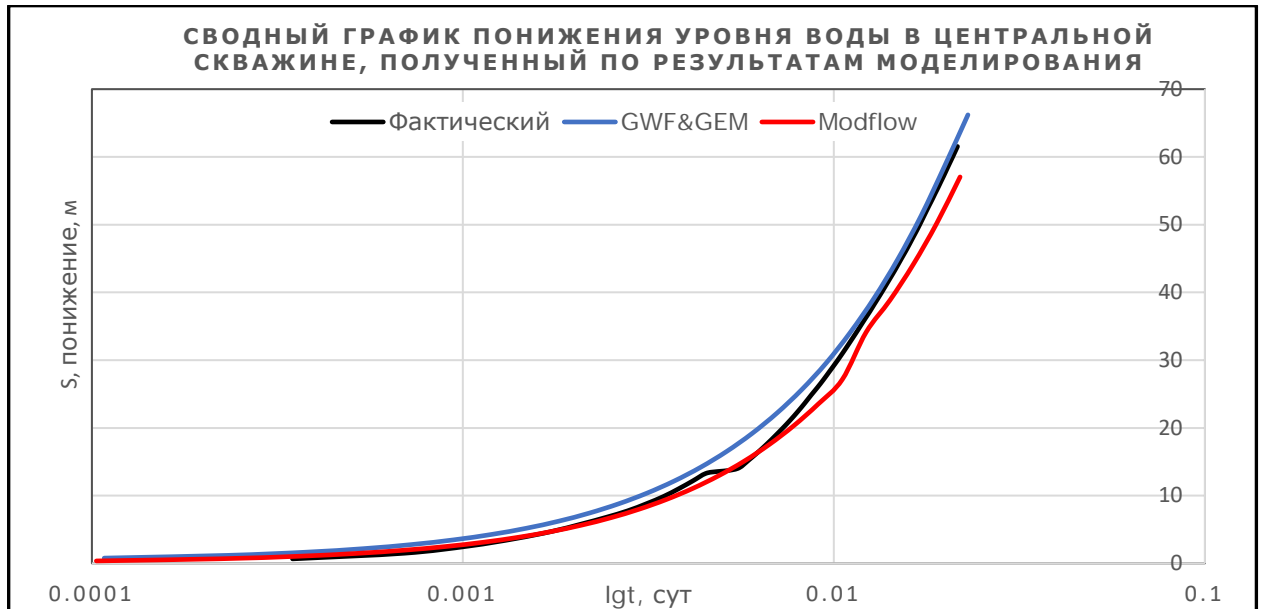


Рисунок 22 График понижения уровня воды при откачке

Как видно, подобранные параметры на РМ дали результат аналогичный фактическому и GWF&GEM. Таким образом стало возможно моделирование трещины. Для этих целей была задана ещё одна точка наблюдения, уже в области наблюдательной скважины.

Трещина моделировалась во втором слое, таким образом, её параметры составили $0.1 \times 0.1 \times 1 \text{ м}^3$. В четырёх блоках, соединяющие две скважины были начаты последовательные изменения коэффициентов фильтрации. При изменении параметров свыше 200 м/сут уже возникла соответствующая стабилизация уровня. Последовательно увеличивая параметры удалось добиться картины, представленной на рисунке 23.

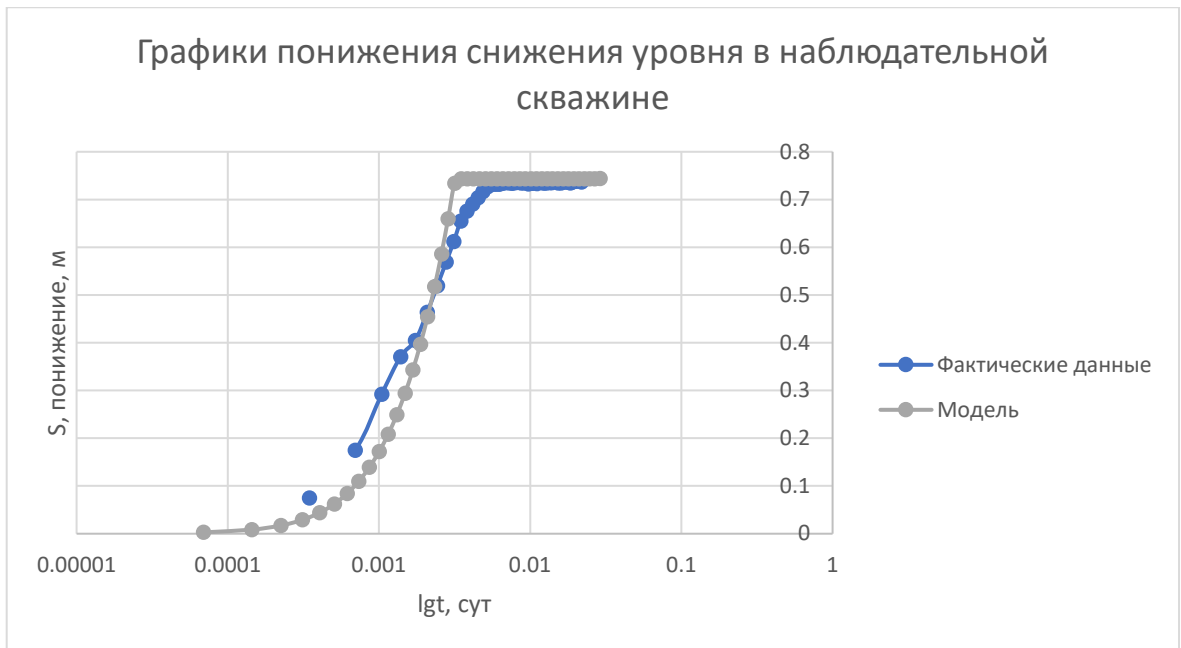


Рисунок 23 Сравнение фактических и модельных данных

Данные модельного графика получены параметрах, представленных в таблице 6.

Таблица 6 Полученные в результате моделирования параметры

k , м/сут	6500
η^* , 1/м	1.00E-05

Очевидно, что такой большой коэффициент фильтрации говорит о том, что трещина, соединяющая две скважины, не содержит в себе заполнителя. Получается, что среда в данном случае состоит из двух сред – очень слабопроницаемых пород и трещин с огромными коэффициентами фильтрации, способные, в случае их вскрытия, вызывать активный водоприток в горные выработки. Дополнительно надо отметить, что при моделировании трещины какого-либо принципиального изменения понижения уровня в центральной скважине не наблюдалось, что ещё раз подтверждает вывод о том, что при данной откачке в центральной скважине невозможно увидеть влияние реально существующей трещины.

6.4 Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Интерпретация откачки с использованием аналитических схем не позволила с необходимой надежностью (с учетом всех гидрогеологических особенностей) интерпретировать данные опробования.

2) Применение GWF&GEM позволило установить: коэффициент фильтрации вмещающих пород при обработке аналитическими методами был занижен как минимум на порядок; реальный коэффициент пьезопроводности был получен только в наблюдательной скважине. Использование Modflow позволило задать реальную трещину с предполагаемой геометрией, что привело к подтверждению теоретических суждений и получению фильтрационных параметров для конкретной трещины.

3) Численное моделирование необходимо применять в условиях, когда невозможно привести ситуацию к существующим расчетным схемам. Применение Modflow позволило смоделировать уникальную ситуацию, которая не отражена в аналитических схемах.

4) Полученные данные должны учитываться при создании комплексной гидрогеологической модели. Используя аналитические схемы при обработке понижения в наблюдательной скважине были получены параметры коэффициента фильтрации $n \cdot 10^{-2}$ м/сут. Очевидно, что это некий усредненный параметр, не позволяющий детализировать ситуации с наличием одиночных высокопроводящих трещин. Вскрытие крупной трещины, содержащей или соединяющейся с большим объёмом воды, может привести к серьёзным негативным последствиям обводнения горных выработок.

Заключение

Майское месторождение относится к месторождению с простыми геологическими условиями и это действительно так, водоприитоки здесь незначительны, сложных систем водоотведения здесь не применяется, и его дальнейшая разработка не предполагает возникновения серьёзных гидрогеологических проблем.

Гидрогеология не перетерпела значительных изменений за сорок лет, не считая незначительного усиления антропогенного воздействия, выражающегося в незначительном таянии многолетней мерзлоты и некоторого изменения химического состава.

Изыскания, которые были проведены на этапах первичной разведки были проанализированы с помощью современных методов и в целом была подтверждена их достоверность.

Тем не менее в результате исследований вскрылся недостаток гидрогеологических исследований на данном месторождении – практическое отсутствие кустовых откачек.

Центральной частью работы стало всестороннее изучение единственной кустовой откачки с использованием аналитических схем и численного моделирования. Откачка была проанализирована с использованием нескольких аналитических схем, однако результаты анализа не позволили сделать однозначного вывода о геофильтрационных свойствах горных пород, в результате чего применилось численное моделирование. Было использовано два программных комплекса, на одном из которых были получены уточнённые параметры для центральной скважины, а на другом смоделирована сложная гидрогеологическая ситуация, связанная с сильнейшей неоднородностью геологической толщи.

Результатом использования моделирования стало заключение о том, что, во-первых, коэффициент фильтрации на данном месторождении в

результате обработок одиночных откачек был занижен на 1-2 порядка, а во-вторых, доказательство существования трещин с большими коэффициентами фильтрации, которые могут за короткое время передать большой объём воды.

Подземные воды имеют слабое питание в этой области, поэтому возможное вскрытие крупных трещин приведёт к резкому скачку водопритоков с последующим затуханием расходов. Данный факт уже неоднократно фиксировался работниками рудника.

В результате были выполнены все поставленные цели и задачи, включая те, что возникали в процессе непосредственной работы над дипломом. Главным итогом можно считать обнаружение, изучение и интерпретация уникальной гидрогеологической ситуации с использованием численного геофильтрационного моделирования.

Список источников

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. // Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., «Недра», 1973, 304 с.
2. Григоров С.А., Гольффрид У.Д., Луценко В.Г., Процкий А.Г., Розенблюм И.С. // Отчёт о геологоразведочных работах на Майском золоторудном месторождении за период 1975-1980 гг. с подсчётом запасов по состоянию на 1 октября 1980 года. Поселок Майский. 1980 г.
3. Глушков Н.И., Быков А.А., Муртазалиева Н.И. // План развития горных работ ООО «ЗК Майское» на 2017 год. Г. Певек. 2016
4. Коносавский П.К., Соловейчик К.А. // Математическое моделирование геофильтрационных процессов: Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2001, 96 с.
5. Коносавский П.К., Титов К.В., Левицкий А. // Программа GWF&GEM. Краткая характеристика программы. СПб: 2001, 18 с.
6. Лкунер Л., Шестаков В.М. // Моделирование геофильтрации. М.: «Недра», 1967;
7. Мироненко В.А. // Динамика подземных вод: Учебник. – 3-е изд., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 519 стр.
8. Мироненко В.А., Шестаков В.М. // Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М., «Недра», 1978. 325 с.
9. Синдаловский Л.Н. // ANSDIMAT – программный комплекс для определения параметров водоносных пластов. СПб.: Наука, 2011.
10. Цыплаков В.Н., Митропольской А.В., Смелянский Б.Е., Согрин Б.Б. // ООО «Золоторудная компания Майское». Строительство Майского обогатительного комбината. Проектная документация. Раздел 5. Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений. Часть 1 Производственные здания и сооружения. Подраздел Технологические

решения. Книга 1. Горные работы. Часть 1.1. Геологическая характеристика месторождения. СПб., 2011. 187 с.

11. VISUAL MODFLOW: практическое применение моделирования движения подземных вод и переноса загрязняющих веществ: Теория. – Совзонд, 2012.
12. Chiang W-H., Kinzelbach W. // Processing Modflow. A simulation system for modeling groundwater flow and pollution. 1998, 344 P.
13. Cooper H.H., Bredehoeft J.D., Papadopoulos I.S. Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water // Water Resources Research. 1967. Vol. 3, N 1. P. 263–269.
14. Theis C.V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage // Transactions, American Geophysical Union. 1935. Vol. 35, pt. 2. P. 519–524